2e Année N° 10 Août 1935

ANNALES DE PHYSIQUE DU GLOBE DE LA FRANCE D'OUTRE-MER

(Météorologie, Séismologie, Magnétisme terrestre, Océanographie, Volcanologie, Hydrologie)

Paraissant tous les deux mois

SOMMAIRE

Etudes d'océanographie physique dans les colonies francaises.

- Les envahissements brusques du littoral.
- La houle et le niveau de la mer le 20 février 1935 à Tamatave.
- Appareil pour l'observation de la houle.
- Variation du niveau de la mer et agitation microséismique au passage des typhons.
- Mouvement de la mer et agitation microséismique dans le Golfe de Bénin.
- Le port d'Abidjan.
- Fosses marines de l'Afrique Occidentale.

Notes et informations.

Bibliographie.

PARIS Ve

LAROSE ÉDITEUR

11, RUE VICTOR-COUSIN

Prix du Numéro : 6 francs

ANNALES DE PHYSIQUE DU GLOBE DE LA FRANCE D'OUTRE-MER

LAROSE, Éditeur,
11, Rue Victor-Cousin, PARIS (Ve)
-:- Téléphone : Odéon 32-70 -:-
Chèques postaux : Paris 428.81

PRIX DE L'ABONNEMENT ANNUEL
(6 numéros)

FRANCE ET COLONIES FRANÇAISES. . .	35 francs.
ETRANGER	40 francs.

Les abonnements sont payables d'avance à la souscription.

Chaque changement d'adresse
doit être accompagné de 1 franc en timbres-poste.

Prix de la collection 1934 . . . . . 45 francs.

Tous droits de reproduction réservés

Les Annales de Physique du Globe de la France d'Outre-Mer sont publiées sous les auspices du *Conseil de Perfectionnement des Services de Physique du Globe des Colonies,* et sous la direction de M. Henry Hubert, Inspecteur Général du Service Météorologique Colonial.

Chaque numéro contient des mémoires originaux, une chronique des questions de Physique du Globe intéressant les Colonies françaises et une revue bibliographique.

Les Annales de Physique du Globe de la France d'Outre-Mer résument les recherches et observations faites par les météorologistes coloniaux et présentées dans les publications locales ; elles abordent en outre soit des études spéciales n'ayant pu trouver place dans ces publications, soit — et cela de préférence — des travaux d'ensemble concernant des groupes ou la totalité de nos territoires extérieurs. Elles se proposent de faire ressortir la variété et la nouveauté des recherches de Physique du Globe entreprises dans nos possessions lointaines et de réaliser une présentation synthétique des questions, considérées dans le cadre très vaste de notre domaine colonial.

Les numéros de l'année 1935 sont publiés à l'aide de subventions de la Fondation Loutreuil (Académie des Sciences) et de l'Académie des Sciences Coloniales et de subventions officielles.

J. AURICOSTE

Horloger de la Marine de l'État :
de l'Observatoire du Bureau des Longitudes
et du Service Géographique de l'Armée

10, Rue La Boëtie, PARIS
Téléph. : Anjou 25-60

Études
Projets
et
Devis
gratuits
sur demande

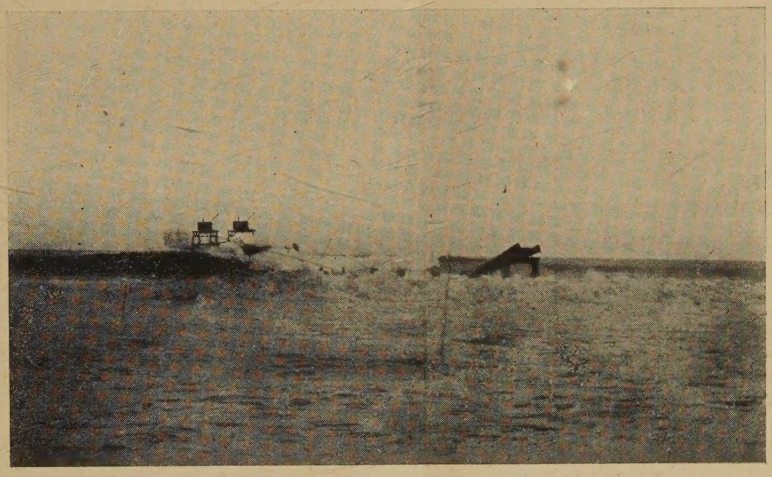
Installation
de
Centres Horaire
—
Distribution
d'heure

HORLOGERIE DE HAUTE PRÉCISION
:-: PENDULES ASTRONOMIQUES :-:
:-: CHRONOMÈTRES DE MARINE :-:
CHRONOGRAPHES-COMPTEURS
:-: HORLOGERIE ÉLECTRIQUE :-:
Construction — Réparations

Les envahissements brusques du littoral par la mer dans les colonies françaises

Le littoral des colonies françaises est assez souvent l'objet d'envahissements brusques par la mer. Les dangers que courent, de ce fait, les populations maritimes sont très réels. C'est ainsi, par exemple, que près de 2.000 personnes furent englouties par les flots lors du cyclone du 12 septembre 1928 à la Guadeloupe.

Le public englobe tous les envahissements brusques des côtes par la mer sous la dénomination générique de raz de marée. En réalité on a affaire à des phénomènes très différents les uns des autres, au moins quant à leurs causes. Afin de faciliter leur étude ultérieure, il a paru utile de dégager ici leurs caractères distinctifs en se servant des observations faites dans nos colonies. Cet exposé sera complété par des indications sur les prévisions ou avertissements que peut comporter chaque type d'envahissements brusques de la mer.



Destruction du wharf de Lomé par un raz de marée le 16 mai 1911

(Cliché communiqué par l'Agence Economique des Territoires Africains sous Mandat.)

I. — Les Raz de Marée

Les raz de marée proprement dits sont dus à certaines causes mécaniques (non météorologiques) : séisme sous-marin, éruption sous-marine, glissement du sol sous-marin, effondrement d'une zone côtière à la suite d'une explosion volcanique, chute dans la mer de falaises ou de portions de collines, etc.

Les raz de marée sont physiquement caractérisés par une série de soulèvements et d'abaissements de la mer (1), les changements de niveau périodiques se répétant à intervalles réguliers, le plus souvent environ tous les quarts d'heure.

Les oscillations peuvent durer assez longtemps, mais elles s'affaiblissent progressivement après le passage de la première ou de la deuxième onde.

Le phénomène est d'autant plus terrifiant qu'il est extrêmement brutal, et en quelque sorte instantané : l'onde qui aborde la côte se déplace, en effet, à une vitesse qui est de l'ordre de 600 à 1.000 kilomètres à l'heure. Dans certaines baies les eaux s'élèvent parfois à plus de 30 mètres.

Les raz de marée observés dans nos colonies sont surtout en relation avec des séismes sous-marins.

C'est le cas de ceux signalés soit à la Martinique (tremblements de terre de Lisbonne, du 1er novembre 1755 et des Grands Bancs, du 18 novembre 1929) (2), soit à Lomé (Togo), le 16 mai 1911 (des-

(1) Le phénomène commence parfois par le retrait de la mer et non par le soulèvement de celle-ci.

(2) Romer. — Martinique. *Ann. de la Commission pour l'étude des raz de marée*, 1932, nº 2, p. 136.

truction du wharf de Lomé), soit à Saint-Pierre et Miquelon (séisme des Grands Bancs) (1).

Il est probable également qu'un véritable raz de marée, dû à un séisme sous-marin, est la cause de la catastrophe qui a accompagné le cyclone du 12 septembre 1928, à la Guadeloupe (2). Les mouvements de la mer observés le 7 juillet 1928, à Port-Etienne et le 30 mai 1933 à la Réunion, sont sans doute aussi en relation avec des séismes (3).

Un cas particulier de raz de marée est celui signalé pour la Martinique lors des grandes éruptions de 1902. On a invoqué alors comme cause l'affaissement momentané de la surface de la mer provoqué par le souffle de l'explosion (4).

Etant donnée l'origine même des raz de marée, ceux-ci sont encore très difficilement prévisibles. Une telle entreprise n'est toutefois pas toujours insurmontable, comme le montre l'exemple suivant :

Le 4 mars 1933, les séismogrammes de la station de Kilauea (Hawaii) ayant permis de déterminer la production, quelques heures plus tôt, d'un séisme sous-marin dans la fosse de Tuscarora (Japon), il fut possible, par un rapide calcul, de prévoir l'arrivée probable d'un raz de marée au port d'Hilo (Hawaii), le même jour, vers 15 h. 30 (heure locale). L'alerte fut donnée, en conséquence, dans tout l'archipel et les précautions indispensables purent être prises. Elles furent du reste parfaitement justifiées car le raz de marée passa à Hilo six minutes seulement après l'heure qui avait été prévue (5).

II. — Marées de Tempête

Ce sont des envahissements du littoral correspondant à une montée anormale du niveau de la mer et en relation, cette fois, avec des phénomènes météorologiques.

Au lieu de mouvements alternatifs, comme dans le cas précédent, on assiste simplement à une montée lente et progressive des eaux. Elle se poursuit pendant un nombre variable d'heures. La descente est également lente et progressive.

En général, ce phénomène, s'il est isolé, ne prend pas une allure catastrophique. Il se traduit tout au plus par des inondations locales assez lentes. Il en est autrement lorsque les marées de tempête sont accompagnées de lames de tempête (voir plus loin), ou lorsqu'elles viennent s'ajouter soit à l'onde-marée lunisolaire, soit à un raz de marée proprement dit.

Les causes météorologiques qui peuvent prédominer dans la production de ces marées de tempête sont au moins au nombre de trois. Elles sont d'ailleurs susceptibles de s'ajouter :

a) *Gonflement sous l'influence directe de la pression atmosphérique.* — Les récents travaux de M. l'Ingénieur hydrographe en chef Courtier (1) ont montré que, pour Brest, à un abaissement de 1 millimètre de la pression atmosphérique correspondait une élévation du niveau de la mer de 1 cm. 44 à 1 cm. 64. Ainsi, à une diminution de pression de l'ordre de 60 millimètres, chiffre atteint ou dépassé lors des cyclones tropicaux, pourrait correspondre une intumescence de l'ordre de 1 mètre, ce qui n'est pas négligeable, puisque cela peut doubler la valeur de la marée lunisolaire en plein Océan. Ce phénomène se rattache en somme à celui des *seiches*.

b) *Amoncellement d'eau sous l'action directe du vent.* — L'action directe et continue du vent a pour effet de pousser contre la côte des quantités d'eau de plus en plus grandes. Cela se produit aussi bien au cours des tempêtes, en Europe (2), qu'à l'occasion de cyclones, en particulier dans le golfe du Mexique (3). Dans ce dernier cas, le gonflement de la mer serait dû à l'action continue du vent dans le quadrant arrière droit du cyclone.

c) *Accumulation d'eau due à des courants marins d'origine cyclonique.* — Les études poursuivies par M. Thomas, à Madagascar, ont montré (4) que le mécanisme précédent ne jouait pas d'une façon appréciable dans l'Océan Indien. Par contre, le même auteur attribue les accumulations d'eau qui accompagnent les cyclones tropicaux sur le littoral de la Grande Ile à de très forts courants marins se

(1) Saint-Pierre et Miquelon, *Ann. de la Commission pour l'ét. des raz de marée*, 1932, n° 2, p. 64.

(2) H. Hubert. — Les calamités en relation avec les dépressions atmosphériques dans les colonies françaises. *Matériaux pour l'étude des calamités*, 1929, n° 20, p. 314.

(3) Famin. — Mauritanie, *Ann. Commiss. ét. raz de marée* 1931, n° 1, p. 59 ; — Réunion, *ibid*, 1933, n° 3, p. 76.

(4) A. Lacroix. — La Montagne Pelée et ses éruptions, p. 500.

(5) Voir *Annales de la Commission pour l'étude des raz de marée*, 1933, n° 3, p. 63.

(1) A. Courtier. — Note sur la variation du niveau moyen de la mer à Brest en fonction de la pression atmosphérique. *Annales des la Commision pour l'étude des raz de marée*, 1933, n° 3, p. 22.

(2) La Cour. — Conditions anormales de niveau de la mer dans les eaux danoises les 15 et 16 janvier 1916. *Annales de la Commission pour l'étude des raz de marée*, 1932, n° 2, p. 30.

(3) I.-M. Cline. — Tides and coastal currents developed by tropical cyclones. *Monthly Weather Review*, vol. 61, 1933, p. 36.

(4) J. Thomas. — Notes sur les marées et courants côtiers produits par les cyclones tropicaux. *Annales de la Commission pour l'étude des raz de marée*, 1934, n° 4, p. 67.

produisant autour du cyclone. Ces courants résulteraient à la fois de l'action des vents et de l'élévation de la mer produite par la dépression atmosphérique.

La prévision des marées de tempête est liée à celle des phénomènes météorologiques eux-mêmes. Dans le calcul de l'ordre de grandeur probable de la montée des eaux marines doivent intervenir les différents éléments suivants :

Valeur de la dépression ; — Valeur du gradient ; — Direction du vent soit en valeur absolue, soit par rapport à la direction de la côte ; — Force du vent ; — Hauteur de la marée ; — Caractères des courants littoraux, soit permanents, soit accidentels ; — Caractères de la topographie sous-marine, au moins dans la région néritique (1).

Pour les prévisions ou les avertissements à effectuer on pourra s'inspirer heureusement des recherches poursuivies en Hollande au cours de ces dernières années (2).

III. — Lames de Tempête

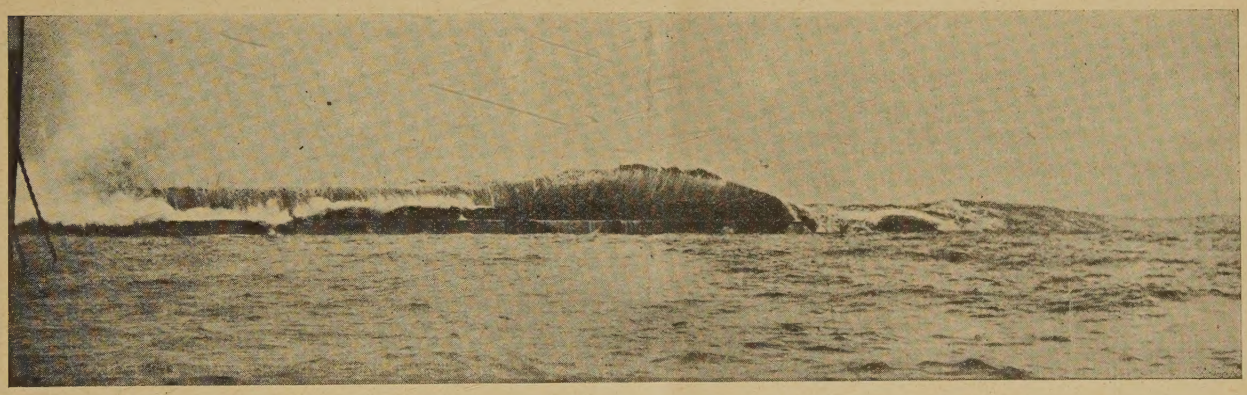
Il s'agit maintenant d'envahissements du littoral non accompagnés d'une élévation anormale du niveau de la mer. Cependant la côte est envahie par les eaux, elle est balayée parfois sur une grande profondeur et les ouvrages maritimes sont détériorés ou détruits.

Ces phénomènes brutaux, beaucoup plus destructeurs que ne le sont les marées de tempête, sont dus à l'exagération de l'*amplitude de la houle*, dont les dernières ondes montent, parfois pendant des heures, à l'assaut de rivages en apparence bien protégés et provoquent des catastrophes.

En général, cette augmentation de l'amplitude de la houle est en relation évidente avec une tempête voisine. Il semble que pour caractériser ce cas, l'expression *lames de tempête* est celle qui convient le mieux.

Ces phénomènes s'observent fréquemment sur les côtes de tous les territoires de notre empire d'outre-mer, sauf toutefois sur les côtes orientales de l'Atlantique. Déjà relativement plus rares au Maroc, ils sont exceptionnels ou peu importants en A. O. F. et en A. O. F.

On peut distinguer dans les territoires français deux zones où se produisent ces phénomènes. D'une part, les régions tempérées, et en particulier le bassin de la Méditerranée. Les derniers exemples sont ceux signalés à Tunis et Bizerte, en 1931 (1), et à Alger, en février 1934 (2). Dans ce dernier cas, l'amplitude de la houle a été estimée supérieure à 7 mètres. Une des jetées d'Alger a été enlevée sur 400 mètres de longueur (voir photographie ci-contre).



Lames de tempête à Alger, 3 février 1934

(Cliché des Annales de la Commission pour l'étude des raz de marée.)

La seconde zone des régions à *lames de tempête* est constituée par l'ensemble des régions équatoriales fréquentées par les cyclones (Afrique de l'Ouest exceptée) (3).

(1) En ce qui concerne l'influence de la topographie, on sait que l'élévation des eaux peut s'exagérer considérablement quand elles s'engouffrent dans un chenal, ou bien quand des golfes ou anses favorisent la production de phénomènes de résonance.

(2) E. van Everdingen. — Raz de marée aux Pays-Bas et leurs prévisions. *Annales de la Commission pour l'étude des raz de marée*, 1934, n° 4, p. 116.

(1) Tunisie. *Annales de la Commission pour l'étude des raz de marée*, 1932, n° 2, p. 151.

(2) P. Renaud. Les tempêtes du 3 février 1934. *Ibid.*, 1934, n° 4, p. 42.

(3) On sait qu'il n'y a pas de cyclones tropicaux dans l'Afrique de l'Ouest.

Les phénomènes observés, non spécifiquement différents des précédents, sont en relation cette fois avec des dépressions très creuses et très mobiles, les cyclones tropicaux. On les observe tous les ans à Madagascar et en Indochine, et plusieurs fois par siècle dans la plupart des autres colonies tropicales, Afrique de l'Ouest exceptée.

La prévision de ces lames de tempête est, en principe, celle des dépressions voisines elles-mêmes. Quand ces dernières sont bien repérées, l'arrivée des lames de tempête est en quelque sorte évidente. En fait, ce sont plus souvent ces dernières qui permettent de prévoir le point de la côte où la dépression abordera.

IV. — Houles d'origine lointaine

Ce dernier type d'envahissement du littoral par la mer n'est pas différent, quant à ses effets, du précédent, mais ces derniers sont, cette fois, plus spécialement fonction de l'exagération de la *longueur d'onde de la houle*, celle-ci étant alors sous la dépendance de phénomènes d'origine lointaine.

C'est le long de la côte africaine de l'Atlantique que s'observent ces houles particulières, depuis le Maroc jusqu'à Pointe-Noire, pour ne parler que des régions françaises. Bien entendu, pour la partie septentrionale de cette côte, où les tempêtes voisines ne sont pas rares, on trouve à la fois les lames de tempête, décrites plus haut, et ce qu'on appellera ici les houles d'origine lointaine. De même, sur les côtes de l'A. O. F. et de l'A. E. F., les vents de grain peuvent déterminer localement et temporairement des ondes courtes et creuses, se rattachant aux lames de tempête, sans effets destructeurs toutefois ; mais la houle normale, constante, permanente, qui possède au large une faible amplitude et une grande longueur d'onde, est indépendante des conditions météorologiques locales.

On a donné le nom de *barre* aux phénomènes superficiels que provoque l'arrivée de la houle sur cette côte. La *barre* règne sur tout le littoral, sauf en quelques points privilégiés (Port-Etienne, Dakar, Bathurst, Freetown, etc.), où la topographie sous-marine permet le maintien de fonds notables. Là, la houle s'amortit au lieu de s'exagérer.

Il paraît superflu de reprendre ici une description de la *barre*, qu'on pourra trouver par ailleurs (1). Je rappelle simplement que cette dernière est caractérisée au moins par une première volute (lame déferlante) se produisant un peu en avant d'un léger bourrelet de sable (auquel seul s'appliquait à l'origine le nom de barre) (1) qui se forme souvent à moins de 100 mètres du rivage. Dans de nombreux points du littoral, à cette première volute s'en ajoutent une ou deux autres, plus voisines de la côte, et provoquées par des phénomènes d'interférence.

La hauteur des volutes et leur puissance destructrice, qui varient nécessairement dans le temps, sont fonction de l'amplitude de la houle *au voisinage immédiat* de la côte. Bien que cette amplitude soit très faible au large, ainsi qu'il a été dit plus haut, et cela contrairement à ce qui se passe pour les lames de tempête, elle est susceptible d'augmenter très brutalement à quelques centaines de mètres du littoral. Or ceci dépend de la très grande longueur d'onde, le volume laissé disponible par le relèvement de la côte restant constant, la hauteur de la houle se trouve en effet déterminée par la masse d'eau, alors considérable, mise en mouvement par chaque ondulation.

On connaît les effets mécaniques de la houle au Maroc. Les exemples des régions plus méridionales sont moins présents à l'esprit. On sait toutefois que l'amplitude de la houle rend en général difficiles les opérations de débarquement par allèges, d'où la nécessité de construire des wharfs. On sait moins que les houles exceptionnelles peuvent provoquer la destruction de ces derniers ouvrages (cas de Grand-Bassam en 1933, voir photo ci-contre) ou provoquer des envahissements de la mer jusque dans certaines agglomérations comme Saint-Louis (N'Guet Dar) ou Rufisque (2).

MM. Gain et Montagne (3) ont montré que les houles du Maroc étaient en relation avec des dépressions. Certaines de ces dernières sont locales ou voisines, et l'on se retrouve ainsi dans les conditions des lames de tempête. Par contre, de très fortes houles du Maroc sont dues à des dépressions lointaines ou très lointaines (Bermudes, Terre-Neuve), et ceci constitue un cas très particulier, important d'ailleurs pour la côte africaine tropicale de l'Atlantique : il y a lieu, en effet, d'associer cette dernière à celle du Maroc.

Mais il semble aussi que les grandes houles de l'A. O. F. et de l'A. E. F. peuvent être simplement sous la dépendance des vents saisonniers, très constants,

(1) H. Hubert. — Mission scientifique au Dahomey, p. 170.

(1) Ce bourrelet, cette barre, ainsi dénommée à l'origine, sans doute par analogie avec les barres d'estuaires, se constitue à l'endroit où la lame déferle.

(2) *Annales de la Commission pour l'étude des raz de marée*, 1931, n° 1, p. 70.

(3) Gain, *Ann. hydr.* 1918 ; — Montagne, *Ann. hydr.* 1922.

qui soufflent au large de ces deux pays. Or ces vents sont souvent déterminés par des hautes pressions éloignées et non par des dépressions. C'est pourquoi, jusqu'à plus ample informé, il paraît bon de désigner les phénomènes ondulatoires examinés ici par l'expression *houles d'origine lointaine.*

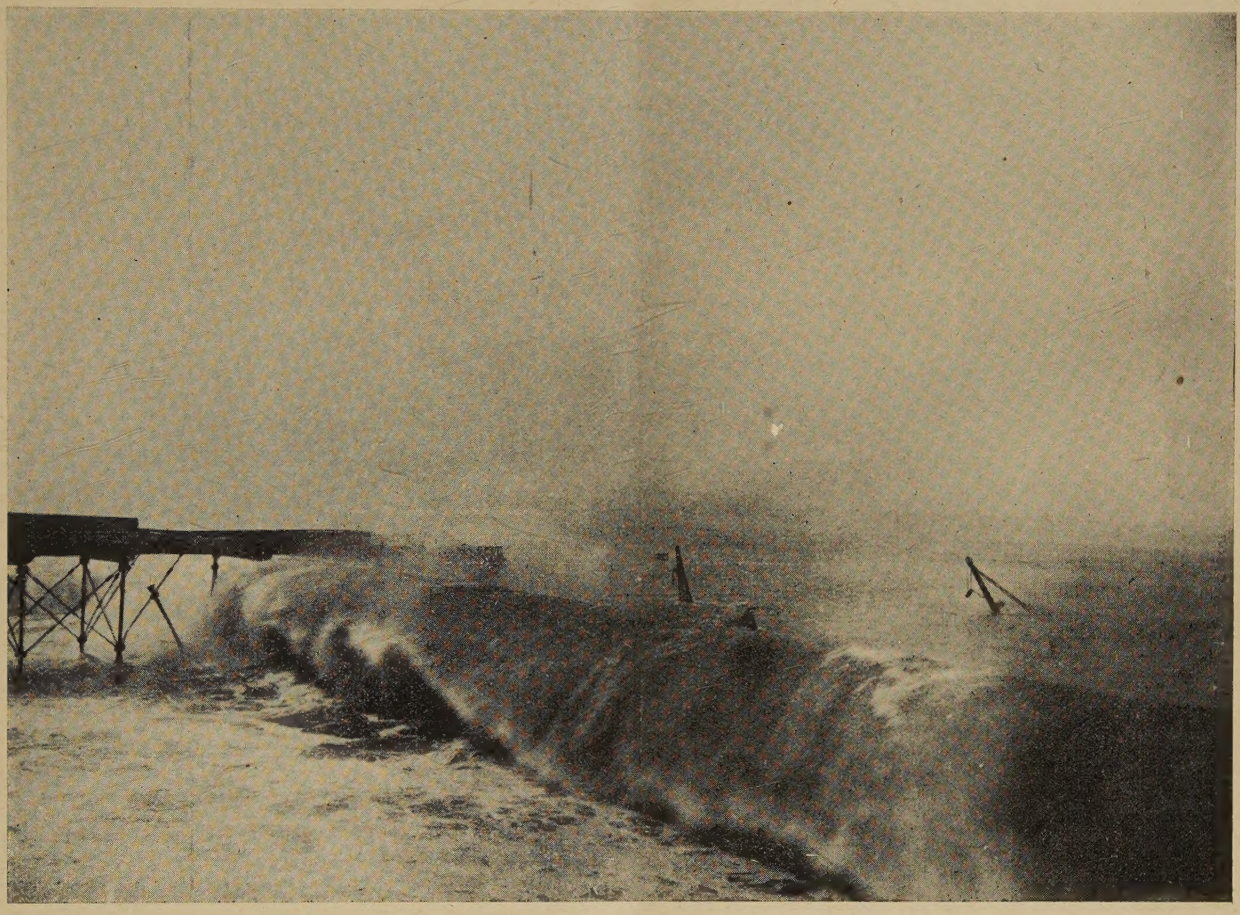
La prévision des variations d'amplitude de ces houles est naturellement des plus malaisées, sauf peut-être dans des pays bénéficiant d'une situation géographique permettant de recevoir des informations nombreuses dans des directions favorables. Ce n'est pas le cas pour la plus grande partie de nos colonies d'Afrique. On pourrait par contre y réaliser des avertissements intéressants.

A la suite des recherches qu'il a effectuées au Maroc, M. Montagne a montré, en effet: 1° que la période de la houle pouvait être très variable et qu'il y avait une relation généralement simple entre la période et l'amplitude à proximité de la côte ; 2° que la croissance et la décroissance de la houle étaient progressives, et que le sens de la variation pouvait se déduire du passage irrégulier d'ondes intercalaires.

Ces précieuses données ont permis de réaliser, au Maroc, par l'observation directe, de très bons avertissements, et cela aussi bien dans le cas de lames de tempêtes voisines que dans celui de houles d'origine lointaine.

Il est évident que des résultats semblables pourraient être obtenus aisément ailleurs.

Henry HUBERT.



Déferlement de la lame (barre) à Grand-Bassam le 19 août 1923

Dans l'eau, avant d'une chaloupe coulée, et débris de l'extrémité du wharf.
A noter l'opposition entre le calme apparent de la mer et la puissance des phénomènes sur le littoral.

La houle et le niveau de la mer pendant le cyclone du 20 février 1935 à Tamatave

A l'occasion du passage d'un cyclone à proximité immédiate de Tamatave, il a paru intéressant de comparer les effets produits par le météore sur l'état de la mer et sur son niveau.

Le cyclone vient du Nord-Est ; son centre passe à 5 kilomètres environ au Nord-Ouest de la station météorologique, le 20 février, quelques minutes avant 3 heures (heure du 3e fuseau Est). Il est annoncé officiellement depuis la veille, à 15 heures et pressenti depuis le 18 février.

C'est un cyclone d'intensité assez forte, quoique non destructeur ; on observe à Tamatave une vitesse du vent atteignant 105 kilomètres à l'heure pendant une heure entière et 118 kilomètres à l'heure pendant une rafale ; le minimum barométrique est 989 millibars. Il n'y a pas eu de raz de marée.

Un marégraphe est installé au fond de la darse de batelage avec laquelle il communique par un canal long d'une dizaine de mètres et de 0 m. 30 de diamètre ; c'est un modèle à flotteur et réducteur des Etablissements Richard.

Il n'enregistre donc pas la physionomie de la houle du large ; par contre, il accuse assez bien l'agitation de la mer dans l'intérieur du port et permet de suivre les variations lentes de son niveau moyen (Fig. p. 109).

Etat de la mer. — Le 18, en fin de soirée, dans la partie abritée du port très calme à ce moment, il a été observé, par le Capitaine de port, une petite houle à peine perceptible et de direction inobservable, qui déferlait en même temps tout le long de la plage, sans rouler et avec un bruit relativement plus sec que de coutume (1).

Le 19 février, dans la matinée, l'agitation de la mer augmente considérablement ; le vent, très fort du Sud, empêche de distinguer la direction vraie de la houle ; dans l'après-midi, la houle caractéristique d'ouragan étant bien établie, on peut observer sa direction d'après le déferlement plus violent sur la partie Est-Nord-Est des récifs.

A la fin de la journée les lames passent par-dessus la digue extérieure dont le sommet est à la cote + 6 mètres, mais en talus du côté du large. Sous l'effet combiné de la houle et du vent la mer devient très grosse à l'extérieur des ouvrages de protection ; le port, abrité du vent par la Pointe-Hastie et de la houle par le grand récif et la jetée, reste relativement peu agité (voir carte p. 109).

Dans la nuit, le centre se rapprochant, la houle pénètre dans la rade, causant une forte agitation de la mer qui commence à battre les môles et contourne, en partie, l'ouvrage de protection de la Pointe Tanio.

Le 20 février, vers 3-4 heures, au moment de l'accalmie centrale du vent, le clair de lune permet de distinguer au large une mer démontée avec houle énorme et confuse.

Aussitôt après le passage du centre, à 3 heures, le vent saute au Nord-Nord-Est avec une violence accrue, balayant la rade qui n'est pas abritée dans cette direction. « En rade, il y avait plus de mer que de houle ; mer très creuse, très agitée », signale le Capitaine de port dans son rapport.

Au large, dans la matinée, la mer est démontée avec houle confuse ou irrégulière du Sud, le cyclone étant alors dans l'intérieur des terres. Cet état persiste jusqu'à 14 heures, moment où le vent redevient modéré.

Dans l'après-midi, la mer diminue ainsi que la houle qui déferle plus violemment, tantôt du Sud-Est, tantôt de l'Est, tantôt même du Nord-Est, et finit par s'établir au Sud à Sud-Est en fin de journée.

Le 21, la mer n'est plus que houleuse ; la houle établie au Sud-Est diminue progressivement.

Marégraphe. — Le niveau « calculé » est celui que donne l'*Annuaire des Marées pour l'Océan Indien*, publié par le Service Hydrographique de la Marine française. Le niveau « enregistré » est compté au milieu des oscillations :

	Calculé	Enregistré
Le 18 février :		
Marée basse à 19 h. 53..	40 cm.	40 cm.
Le 19 février :		
Marée haute à 1 h. 59..	100	97
Marée basse à 8 h. 6...	40	42
Marée haute à 14 h. 9 ..	100	98
Marée basse à 20 h. 18..	40	48

(1) Ce brisement caractéristique de la mer d'une façon bruyante et uniforme sur la plage pourrait être un signe précurseur du cyclone. Toutefois, ne donnant pas d'indication précise de direction, il ne peut être de grande utilité. Il s'agit peut-être d'une première onde très superficielle.

	Calculé	Enregistré
Le 20 février :		
Marée haute à 2 h. 29 .	100	120 (passage du centre)
Marée basse à 8 h. 31..	40	64
Marée haute à 14 h. 38 .	100	103
Marée basse à 20 h. 46..	40	45

L'agitation, à l'intérieur du port, n'est enregistrée qu'à partie de 20 heures, le 18 ; elle disparaît le 20, à 12 heures ; elle est maximum au moment du passage du centre, le 20 entre 2 et 3 heures.

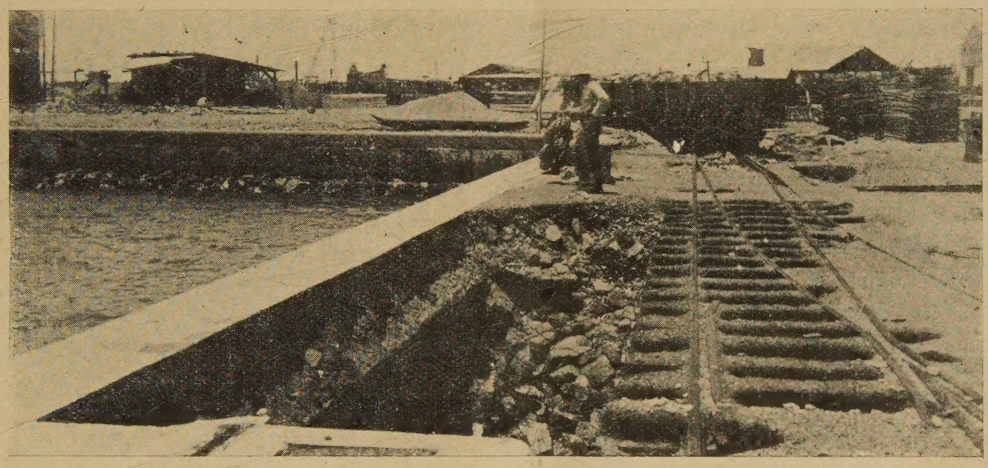
Comparaison. — L'action du cyclone sur l'agitation de la mer et sur la houle du large a nettement précédé et suivi la variation du niveau moyen. Il n'y a donc pas eu de gonflement de la mer précédent le centre à une distance suffisante pour appuyer ou améliorer la prévision météorologique.

monté davantage sur la partie du rivage directement exposée au vent.

En somme, douze heures avant et douze heures après le passage, aucune altération du niveau de la mer n'a été enregistrée alors que la mer au large présentait une agitation importante.

Il semble donc que les considérations présentées l'an dernier par le Chef du Service météorologique de Madagascar, au sujet des observations américaines, soient confirmées (1-2).

On peut ajouter que l'âge et la vitesse du cyclone doivent jouer un rôle important dans les phénomènes de gonflement de la mer et de raz de marée, en plus de la disposition géographique et topographique du littoral, et de la position de la localité, par rapport à la trajectoire. Un cyclone adulte, c'est-à-dire bien formé et très creux depuis deux ou trois jours au



Affouillement du môle A de Tamatave le 20 février 1935

Le cyclone présentait cependant, au marégraphe, le secteur avant gauche qui serait, d'après les études américaines, le plus favorable (hémisphère Sud) à l'observation de ce gonflement.

Ce n'est qu'au moment où le marégraphe se trouvait à proximité immédiate du centre qu'une élévation nette du niveau moyen a été observée, de l'ordre de 20 à 25 cm. seulement.

Cette élévation a été plus importante et un peu plus prolongée après le passage du centre, probablement par suite de la position du marégraphe au sud du port, où le vent violent du Nord-Nord-Est produisit une légère accumulation d'eau. Pour la même raison, la mer aurait, d'après certains témoins moins, doit nécessairement produire des effets plus considérables sur l'océan, puisque ces effets ont leur origine dans l'action persistante des vents en rotation sur la surface marine.

Or, le cyclone examiné ici n'avait pas 48 heures d'existence propre, bien qu'issu d'une dépression amorphe formée depuis plusieurs jours.

P. DE MARTIN DE VIVIES,
Chef de la Station météorologique principale de Tamatave.

(1) *Annales de la Commission pour l'Étude des Raz de Marée* N° 4.

(2) *Tropical Cyclones*, par I. M. CLINE, New-York 1926.

Essais d'un appareil pour l'observation de la houle

par M. l'Ingénieur Hydrographe Principal MARTI

1. M. l'Inspecteur général Hubert, Chef du Service central de la Météorologie coloniale, s'intéresse à l'observation de la houle en mer.

Il a demandé au Service hydrographique de la Marine de vouloir bien effectuer l'essai d'un marégraphe à pression du type Richard, disposé pour l'observation de la houle.

Dans les conditions de l'expérience, la poche d'air se trouvait immergée à une distance de 100 mètres de l'appareil enregistreur et était reliée à celui-ci par l'intermédiaire d'un tube de cuivre creux de 3 millimètres de diamètre extérieur et de 1 mm. 8 de diamètre intérieur.

La vitesse du mouvement d'horlogerie était réglée de façon à faire effectuer au cylindre un tour en 13 minutes, si bien que sur le graphique la minute de temps était représentée par 3 centimètres ; l'échelle des hauteurs était le 1/25e. Enfin l'appareil était susceptible de marcher pendant de nombreux tours sans remontage (5 heures environ) ; toutefois, ceci ne constituait pas un avantage efficace à cause de la superposition des courbes.

2. — Les expériences ont été effectuées en septembre 1934, à Saint-Nazaire, par M. l'Ingénieur hydrographe principal Marti.

M. Marti a créé une houle fictive en descendant et remontant alternativement la poche d'air dans l'eau selon un mouvement oscillatoire.

Il a expérimenté successivement l'amplitude de 2 mètres avec les périodes 10, 15 et 20 secondes, et l'amplitude de 4 mètres avec la période de 15 secondes.

Les résultats sont figurés sur les graphiques de la page 110. Tous les détails du phénomène se trouvent enregistrés, et on peut faire facilement une étude des ondulations successives.

Toutefois, en raison du frottement de l'air dans le tube fin qui relie la poire au manomètre enregistreur, il se produit un retard dans la transmission des variations de pression ; d'autre part la hauteur inscrite sur le graphique n'est pas proportionnelle à la hauteur de la houle, mais au produit HT de la hauteur de H la houle par sa période T, c'est-à-dire à l'énergie.

Dans ces conditions, le graphique ne reproduit pas exactement les oscillations de la houle, celle-ci sont notablement déformées et cette déformation varie avec la grandeur de la période de la houle.

3. — M. l'Ingénieur hydrographe principal Marti estime qu'en présence de ces résultats et des déformations que subit le phénomène dans l'intérieur du tube, il n'y a pas intérêt à utiliser cet appareil pour l'observation de la houle.

Il préconise l'emploi d'appareils marégraphiques dans lesquels la transmission de la pression entre la poche d'air, et l'appareil récepteur serait effectué par une liaison électrique. On pourrait avec ces appareils placer la poche immergée à une distance beaucoup plus grande de la côte, et par suite, plus favorable à l'observation de la houle.

Des expériences seront poursuivies dans ce sens (1).

M. COURTIER,

Ingénieur hydrographe en Chef.

(1) Cette communication a été faite lors de la réunion, à Paris, de la section d'Océanographie physique du Comité national français de Géodésie et Géophysique, présidée par M. Fichot, de l'Institut.

A l'issue de cette communication, le Président a formulé l'avis que les graphiques obtenus, qui donnent une représentation du phénomène, déformée suivant une loi d'anamorphose connue, présentent un grand intérêt.

Actuellement l'appareil d'essai a été mis à la disposition de M. Roux, Chef du Service de Météorologie et de Physique du Globe au Maroc, qui poursuit des recherches à Casablanca.

Des études sont également entreprises pour réaliser la transmission électrique des variations de la pression dans la poche d'air (N. D. L. R.).

Contribution à l'étude des variations du niveau de la Mer et de l'agitation microséismique en relation avec le passage des Typhons

Il nous a paru intéressant d'étudier de près le cas particulier du typhon du 2 au 3 octobre 1933 dont le centre est passé à quelques kilomètres au Sud de l'Observatoire de Phu-Liên. En effet, si les phénomènes n'ont pas atteint dans ce cas une ampleur remarquable, leur netteté nous a paru digne d'être notée et leur analyse de nature à apporter à l'étude des variations du niveau de la mer en relation avec le passage des cyclones une modeste contribution. Au surplus, il est assez rare de trouver une station météorologique bien outillée et un marégraphe sur la trajectoire même du centre d'un typhon.

Quelques mots d'abord sur la formation du cyclone et sur sa trajectoire.

C'est le 29 septembre seulement que la carte de 6 heures permet de déceler la présence, à 450 milles environ à l'Est de Manille, d'un typhon en voie de formation, sinon déjà nettement formé. A vrai dire depuis le 25 après-midi, une vaste zone dépressionnaire était apparue sur le Pacifique, à l'Est des Philippines, tandis qu'un anticyclone, formé sur le Nord de la Chine, se déplaçait vers le Sud jusqu'à se centrer sur la vallée du Yangtsé, s'étalant vers l'Est et le Sud en régime de faible mousson de Nord-Est dans le Nord de la Mer de Chine et le Sud de la Mer Orientale. Il semble donc bien — et ce n'est pas la première fois que nous avons l'occasion de signaler le cas — que le développement du cyclone a été intimement lié au déplacement de l'anticyclone vers le Sud, puis à son étalement vers l'Est.

Au cours des jours qui suivent, anticyclone et typhon dominent, sur la carte d'Extrême-Orient, l'anticyclone restant sensiblement stationnaire et le typhon se dirigeant vers l'Ouest, en bordure méridionale des hautes pressions, laissant, par conséquent, celles-ci à sa droite, comme il est de règle.

Le 1er octobre, à 16 heures, le cyclone est centré à 250 ou 300 milles à l'Est-Nord-Est de Tourane et la circulation cyclonique des vents est nette sur le littoral du Centre-Annam. Mais, du point de vue de la direction de la houle, les indications reçues sont contradictoires : le phare de Tientcha (Tourane) signale, avec du vent de Nord-Nord-Ouest 4, de la houle de d'Est-Nord-Est 5 et le phare de Poulo-Canton (70 milles environ au Sud-Sud-Est de Tientcha) signale des vents de Nord-Ouest 5 et de la houle du vent 5. Il n'est pas douteux que, pour Tourane, la houle signalée ait son origine dans l'agitation régnant au centre du cyclone, et il est fort probable que les vents frais de Nord-Ouest qui règnent sur le littoral, au Sud de Tourane, ont créé une houle qui, à hauteur de Poulo-Canton, masque à peu près complètement la houle provenant du centre assez lointain du cyclone. De cela, il faut conclure que la houle dite d'ouragan, souvent masquée par la houle du vent ou interférant avec celle-ci pour donner une mer confuse, n'est pas de nature à fournir d'utiles indications dans tous les cas. Il faut arriver au 2 octobre matin pour assister, d'une façon nette, à la propagation de la houle à distance. Encore ne s'agit-il pas de la houle du centre-même, puisqu'à ce moment l'aire centrale du cyclone traverse l'île de Haïnan ; il ne s'agit pas non plus des stations situées à la périphérie Nord du cyclone où les vents sont déjà forts, la mer grosse et la houle du vent. Il s'agit uniquement des stations du Centre Annam qui accusent, avec des vents du secteur Oeust faibles, de la houle de Nord longue et de hauteur modérée. Il en sera, d'ailleurs, ainsi quand le cyclone sera centré sur le golfe du Tonkin et juqu'au moment où il se sera partiellement comblé sur la terre.

Dans une note sur la houle des cyclones (1), le P. Gherzi, de l'Observatoire de Zikawei, établit une distinction entre ce qu'il appelle « cyclone swell » et « monsoon swell » (houle d'ouragan et houle de mousson). L'origine du phénomène mise à part, cette distinction est basée sur la différence de période entre l'une et l'autre de ces deux houles. Pour la houle d'ouragan, la période serait de l'ordre de 4 à 5 secondes, tandis que pour la houle de mousson, elle ne serait que de 2 à 3 secondes. Une autre caractéristique de la houle de mousson serait, selon le P. Gherzi, qu'elle ne se propage pas à distance, qu'elle n'existe que là où souffle la mousson et qu'elle dis-

(1) Cf. « Typhoons in 1932 (Note on the swell of cyclones) », by Father E. Gherzi. Ton-Sé-Wé Orphanage Printing Press 1934.

paraît dans le même temps que le vent tombe. Nous ne partageons pas cette opinion. Nous sommes, au contraire, certain que la houle de mousson se propage à distance et nous en trouvons des preuves chaque année dans les observations de l'état de la mer sur le littoral du Centre-Annam. Combien de fois le phare de Tientcha (Tourane) ne nous signale-t-il pas, avec des brises faibles de Nord-Ouest ou même des brises de Sud-Est, de la houle de Nord-Est 4. Il en est ainsi chaque fois que la mousson de Nord-Est, après avoir soufflé sur le Nord et l'Ouest du bassin de la mer de Chine, s'affaiblit sur le golfe du Tonkin et plus au Sud jusqu'au-delà de Tourane, tout en continuant à souffler fraîche dans le Nord-Est de la mer de Chine et sur le littoral du Sud-Annam. Souvent même la mousson de Nord-Est ne s'établit ni dans le golfe du Tonkin, ni dans le Centre-Annam alors qu'elle souffle fraîche dans le Nord-Est du bassin de la mer de Chine. Dans ce cas également, Tientcha note de la houle de Nord-Est ou d'Est-Nord-Est. Tout récemment encore, le S/S *Claude Chappe*, des Messageries Maritimes, faisant route de Tourane vers Haïphong, nous signalait, à une vingtaine de milles au Nord de Tourane, du vent d'Ouest force 4 et de la houle de Nord-Est 4 visiblement due à de la mousson de force 6 à 7 soufflant dans le Nord de la mer de Chine. Il est possible, vraisemblablement même, que, dans la majorité des cas, cette houle soit moins longue et moins creuse qu'une houle d'ouragan. Cela ne saurait surprendre. L'agitation que peut donner la mousson, même forte, n'a, en effet, rien de comparable à celle qui règne dans l'aire centrale d'un typhon violent. L'allure du phénomène est, elle aussi, essentiellement différente. Si la mousson de Nord-Est s'établit parfois de façon brusque, elle s'éteint — toujours, peut-on dire — progressivement. On conçoit donc que là où elle souffle, la mer tombe progressivement avec elle, mais cela ne veut pas dire que là où elle n'a pas soufflé, la houle ne se soit pas propagée. De là, il nous faut conclure que l'existance d'une houle sans vent ou avec un vent de direction différente n'est pas l'indice certain d'une perturbation cyclonique plus ou moins proche. Mais si, selon le P. Gherzi, la période de 4 à 5 secondes notée plus haut est indiscutablement caractéristique de la houle d'ouragan dans les mers de Chine, il y aurait là un moyen simple de discrimination. Aussi nous proposons-nous de faire entreprendre des déterminations des longueurs et des périodes des diverses houles susceptibles d'être rencontrées au long des côtes d'Indochine, et nous espérons que les observations d'une année nous permettront de formuler une opinion définitive en ce qui concerne le littoral de notre Colonie.

Examinons maintenant le diagramme marégraphique de Hondau (station de pilotage voisine de l'entrée de la rivière d'Haiphong) (voir page 111).

Marégraphe de Hondau. — La courbe du 1er octobre est normale et correspond aux indications de l'Annuaire des marée pour les mers de Chine.

La courbe du 2 présente, au contraire, d'importantes anomalies. Ce jour-là, la basse-mer devait avoir lieu normalement à 2 h. 59 et sa hauteur devait être de 11 dm. (au-dessus du zéro des cartes). Le marégraphe accuse bien, en effet, cette hauteur vers 3 heures, mais l'ordonnée de la courbe, au lieu de passer par son minimum, fait un palier et descend même un peu jusque vers 6 h. 30, heure à laquelle elle amorce seulement sa montée. Le décalage de la courbe, par rapport à la normale, va ensuite en croissant et la courbe atteint son maximum vers 13 heures avec 21,5 dm. alors que la pleine mer normale devait avoir lieu à 15 h. 42 avec 27 dm. ; soit un écart négatif de 5,5 dm. Si l'on se reporte aux cartes isobariques, on constate que cet écart commence à s'amorcer à peu près au moment où le centre du typhon, après être passé sur l'île de Haïnan, pénètre dans le golfe du Tonkin. Il semble donc bien qu'il soit imputable, non pas tant aux vents convergents vers le centre du cyclone qu'à la forte baisse barométrique au centre du météore. L'île de Haïnan — agissant, si l'on peut dire à la manière d'un expérimentateur — aurait momentanément supprimé l'effet de cette forte baisse pour le laisser ensuite apparaître. L'hypothèse d'une intumescence centrale, conséquence de la dépression barométrique et entraînant une dénivellation concomitante du niveau des eaux à la périphérie avant du cyclone, se trouverait ainsi confirmée. Si l'on poursuit l'examen du marégramme, on constate qu'à partir de 13 heures un palier jusque vers 16 heures (maximum normal), puis, jusque vers 17 heures, une très légère ascension de la courbe, l'ensemble comportant des irrégularités qui témoignent de l'agitation déjà très forte de la mer. Donc, à partir de 16 heures, heure de la pleine mer normale, l'écart entre les niveaux normaux et réels de la mer va en décroissant. Remarquons que, depuis le matin, les vents de directions à peu près constantes dans les stations littorales du Nord-Ouest du golfe du Tonkin ont progressivement fraîchi pour atteindre, à 16 heures, la force 9 à 10 de l'échelle de Beaufort. A ce moment, le centre du typhon est à une soixantaine de milles à l'Est-Sud-Est d'Haïphong. Il faut donc

admettre que, jusqu'à l'heure (20 h. 15) où la courbe du marégraphe coupe le diagramme normal, les courants convergents vers le centre du typhon diminuent progressivement d'intensité pour s'annuler, le niveau de la mer tendant simultanément vers son niveau normal et cela malgré la violence accrue des vents de la partie antérieure du cyclone. A partir de 21 heures, c'est-à-dire deux heures trente environ avant le passage du centre au voisinage immédiat du marégraphe, le palier cesse et la montée commence d'abord lentement, puis en s'accentuant, la hausse continuant pendant plus d'une heure et demie après le passage du centre, c'est-à-dire avec les vents de la partie arrière, violents dans le cas envisagé. Le décalage, par rapport à la normale, atteint ainsi 1 m. 30. Il ira lentement en décroissant pour s'annuler seulement vers l'heure de la pleine-mer du 3 octobre, soit dix-huit heures après le passage du centre.

On peut donc conclure, de l'examen de cette dernière partie du diagramme marégraphique, que le passage du centre est accompagné d'une élévation franche du niveau de la mer, mais que le maximum de cette dénivellation ne se produit qu'après le passage du centre, en raison du refoulement des eaux par les vents violents et prolongés qui règnent dans les secteurs arrières du cyclone (plus particulièrement dans le secteur arrière droit) et dont la convergence est, en règle tout à fait générale, beaucoup plus marquée que dans les secteurs avant.

Dans l'exemple que nous avons choisi, les variations du niveau de la mer ont été relativement peu importantes, le typhon, bien que violent, n'ayant pas été particulièrement creux. Remarquons aussi que l'amplitude de la marée normale était faible à la date où ce typhon a touché le littoral et qu'au surplus les phénomènes se sont déroulés à un moment tel que typhon et marée ont eu des effets opposés. Mais on conçoit que l'inverse puisse se produire, que les courants convergents de la partie avant d'un cyclone puissent coïncider avec les courants de jusant et que le gonflement de la mer, au moment et après le passage du centre, puisse coïncider avec l'heure de la pleine-mer. Dans ces conditions, si l'amplitude de la marée est forte et si le typhon est creux, les phénomènes doivent fatalement acquérir une ampleur remarquable : courants violents vers le centre du cyclone dans les secteurs avant et raz de marée au passage du centre sur le littoral.

Le passage, sur les rives du delta du Tonkin, du centre d'un cyclone accompagné d'une hausse de 1 m. 50 à 2 mètres seulement du niveau de la mer à l'heure d'une pleine-mer de 35 ou 36 dm., entraînerait vraisemblablement la submersion par les eaux marines d'une notable fraction de la région littorale. Il convient, en effet, d'ajouter à l'effet de la hausse du niveau de la mer celui des vagues énormes dont l'aire centrale d'un typhon est le siège.

Agitation microséismique. — La présence d'un typhon dans le golfe du Tonkin entraîne régulièrement une agitation microséismique qui permet, dans une certaine mesure, de se rendre compte de la violence du cyclone. Cette agitation typique et bien connue consiste en une longue série de trains d'ondes à courte période et de faible amplitude séparées par de très courtes accalmies. Par endroits, le tracé présente une assez saisissante analogie avec la représentation d'un phénomène de battements (battements sonores, par exemple). La période des ondes est de l'ordre de 4 à 5 secondes, donc, selon le P. Gherzi, la même que celle de la houle d'ouragan. L'amplitude des oscillations est de l'ordre de quelques microns, 3 à 4 dans le cas particulier du typhon du 2 octobre 1933.

La régularité du tracé fait qu'il se différencie nettement de celui que l'on remarque en forte mousson d'hiver quand celle-ci atteint le littoral du Centre-Annam. Les séismographes tracent alors une courbe très tourmentée comportant des ondes généralement longues et irrégulières d'amplitude plus forte. Aussi bien le mécanisme de la transmission de l'agitation de la mer au sol n'est-il manifestement pas le même dans les deux cas. Dans le cas du typhon, il ne peut évidemment s'agir de l'ébranlement du rivage par les lames (nous ne disons pas la houle d'ouragan) qui y déferlent. Les vents soufflent, d'ailleurs, du littoral vers la mer tant que le centre du cyclone n'a pas touché la terre et, après le passage du centre, les vagues énormes qui déferlent sur le rivage ne donnent pas d'agitation microséismique spéciale, soit que cette agitation cesse rapidement ou que l'allure du tracé ne change pas. Remarquons, d'ailleurs, que, sur une côte basse et envasée comme celle du delta du Tonkin où les fonds s'abaissent lentement vers le large, l'attaque du rivage par la mer déchaînée ne ressemble en rien au heurt de lames puissantes contre une côte escarpée.

A priori, donc, l'agitation microséismique ne peut être imputée à l'action directe des vagues sur le rivage. E. Rothé, Directeur du Bureau Central Séismologique de France, après avoir constaté que « l'agitation microséismique est en rapport avec l'agitation de la mer, mais plus particulièrement en des points privilégiés tels que Golfe de Gascogne, Manche

et mer du Nord », a émis l'hypothèse « qu'en ces points privilégiés se trouvent des compartiments de l'écorce terrestre plus aptes à entrer en vibrations ». Ces vibrations ne pourraient, semble-t-il, être dues qu'à l'action du gonflement de la mer et à l'énorme agitation qui règne dans l'aire centrale du cyclone, gonflement et agitation qui accompagnent le minimum barométrique sur sa trajectoire de telle sorte que ce sont, à chaque instant, de nouvelles masses d'eau qui entrent en jeu. Mais quel est le mécanisme de la transmission de l'agitation de la mer au sol ? Qui dit vibrations, dit impulsions ou chocs à intervalles plus ou moins réguliers. Ces impulsions ou ces chocs sont-ils dus à la *houle* d'ouragan dont l'action *profonde* se manifesterait au voisinage du littoral là où les fonds se relèvent ? Nous sommes obligés de l'admettre et cela pour la raison suivante. Si l'agitation microséismique ne dépendait que de l'agitation de la mer dans l'aire centrale du cyclone et que cette agitation fût transmise au sol, non pas horizontalement par la houle, mais verticalement par l'intermédiaire des couches liquides sous-jacentes, les séismogrammes devraient, semble-t-il, accuser de façon nette le passage des cyclones sur une île comme Haïnan, sinon par une interruption complète du moins par un affaiblissement marqué de l'agitation microséismique. Or, il n'en est rien. Les enregistrements obtenus lors du typhon du 2-3 octobre 1933 accusent un accroissement lent mais régulier de cette agitation depuis les premières oscillations, alors que le cyclone est encore dans l'Est de Haïnan, jusqu'au moment où il sévit en entier sur le golfe du Tonkin.

Il convient ici de rappeler une particularité bien connue de l'allure du baromètre dans un typhon : ce sont les variations à courte période de la pression barométrique dans le corps même du cyclone. Ces oscillations qu'il est facile de suivre sur un grand baromètre enregistreur ont une amplitude de 1 à 2 millimètres de mercure et une période de 4 à 8 secondes. Cette période est donc de l'ordre de grandeur de celle de l'agitation microséismique et de celle de la houle d'ouragan (voir fig. p. 111).

Avec les météorologistes japonais, le P. Gherzi divise verticalement un typhon en deux parties dont une couche inférieure, région des condensations, des vents convergents et *de la pression ondulatoire* (pumping pressure). A cet égard, nous nous ferons remarquer que le typhon du 2-3 octobre 1933 présente une singulière dissymétrie. Il suffit de jeter un coup d'œil sur le diagramme barométrique ci-joint pour s'en rendre compte. Avant le passage du centre, « pumping » pratiquement nul ; après le passage du centre, agitation, au contraire, très accusée. Dans ces conditions, il nous est difficile de nous représenter la partie inférieure du typhon comme un corps de pompe dans lequel un piston se déplacerait à une cadence plus ou moins régulière en produisant à la surface des flots un pompage lui-même plus ou moins régulier, donnant naissance aux trains d'ondes liquides qui constituent la houle d'ouragan. Au reste, les variations à courte période de la pression atmosphérique sont, nous l'avons dit, de faible amplitude et même en faisant entrer en jeu des phénomènes de résonance, nous ne les croyons pas capables d'un pompage suffisant pour produire une houle vraiment sérieuse. Bien plus encore, que peut être l'effet de ce pompage à côté des vagues énormes, des « montagnes d'eau », si souvent signalées par les marins dans l'aire centrale d'un cyclone, de toutes ces masses liquides refoulées, par les vents convergents vers le centre du météore, dans une région où l'effet de pompage produit par la dépression barométrique n'est lui, certes pas, négligeable ?

Lorsqu'on assiste au passage d'un typhon que l'on suit de près les indications simultanées d'instruments enregistreurs sensibles, on constate trois phénomènes intimement liés entre eux :

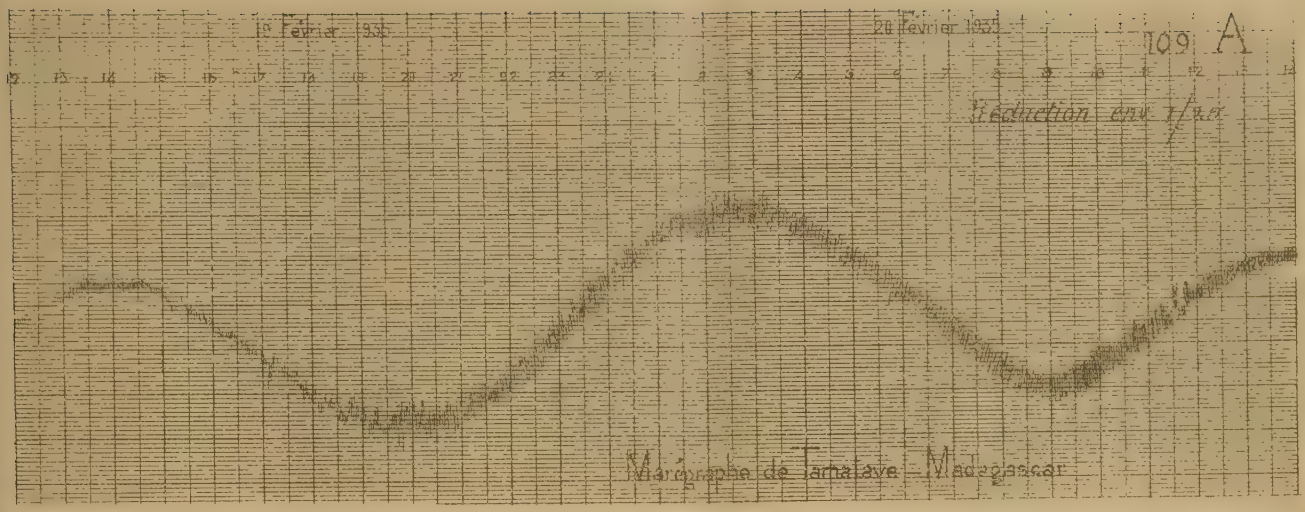
1° Oscillations à courte période du baromètre ;

2° Oscillations sensibles (atteignant souvent un quart) et de même période de la direction du vent ;

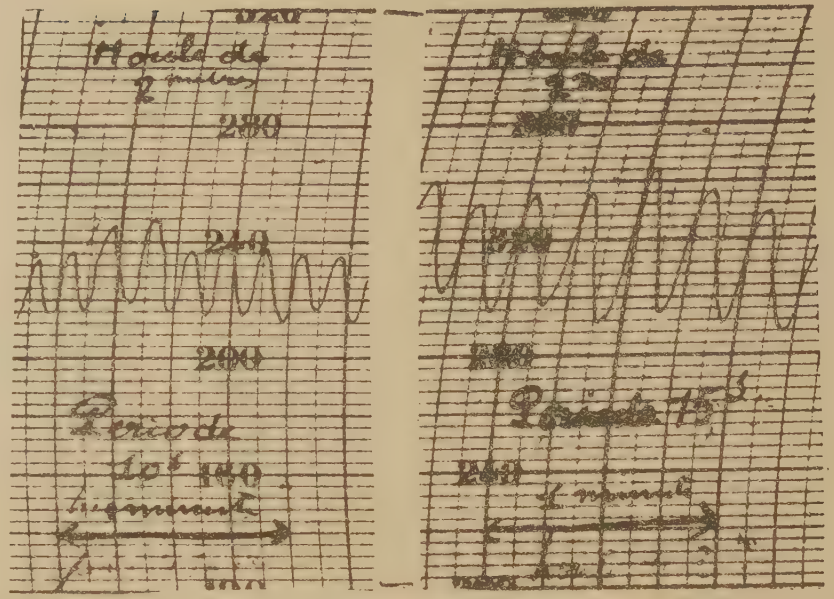
3° Diminution et augmentation concomitantes de la force du vent, c'est-à-dire violentes rafales à courte période.

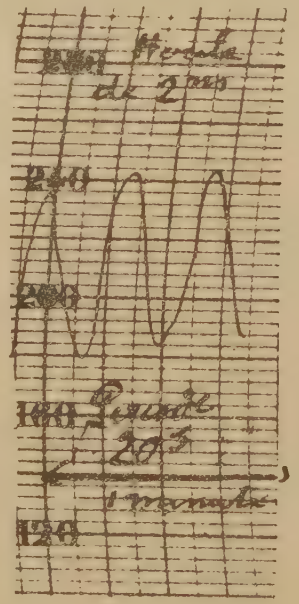
Nous croyons que s'il est un phénomène capable de produire une houle énorme, ce sont bien ces rafales périodiques qui, surtout dans le secteur arrière droit, agissent pendant plusieurs heures dans une direction à peu près constante ou variante très lentement. Quant au soulèvement vertical des eaux sous l'effet des variations barométriques à courte période, nous le tiendrons, jusqu'à preuve du contraire, pour négligeable.

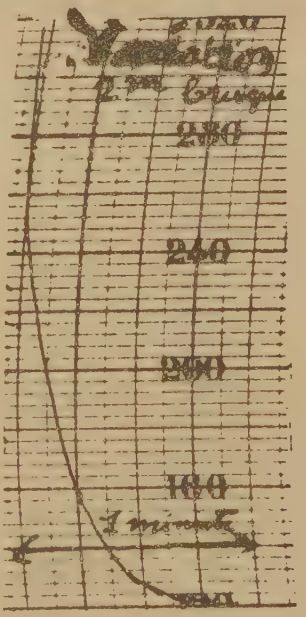
BRUZON,
Chef du Service météorologique de l'Indochine.

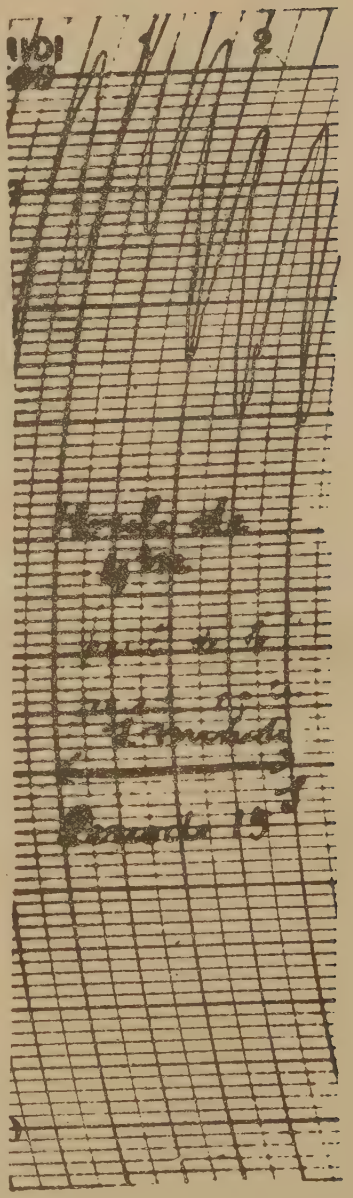

109 A
Réduction env. 1/10
Marégraphe de Tamatave Madagascar

0
1 Kil
B
Pointe Tanio
-10m -20 -20 -10
Grand récif
-10
-20
Rade
-20
Digue extérieure
-10
Môle B
Môle A
Pointe Hastie
Océan Indien
Marégraphe
Station Météorologique
Petit récif
Ville de Tamatave
PLAN DE TAMATAVE

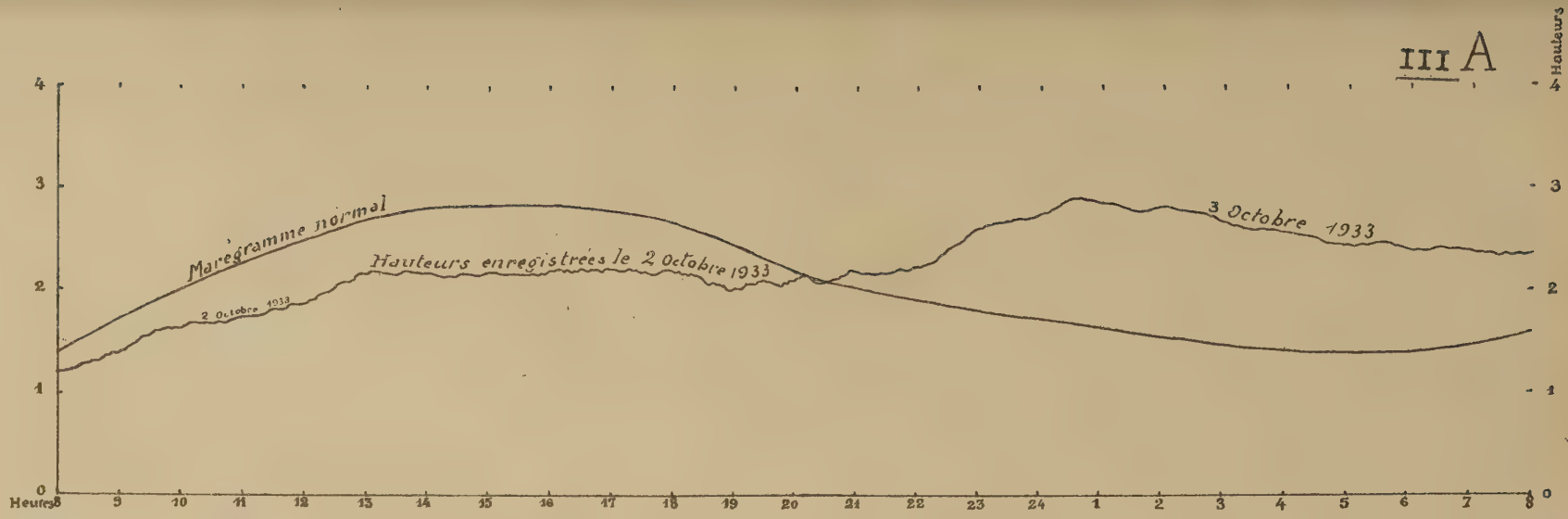

Houle de 2 mètres
250
240
200
Période de 10s 140
1 minute
Période 15s
1 minute


Houle de 2 mètres
240
200
160
Période 20s
1 minute
120


2 mètres
250
240
200
160
1 minute

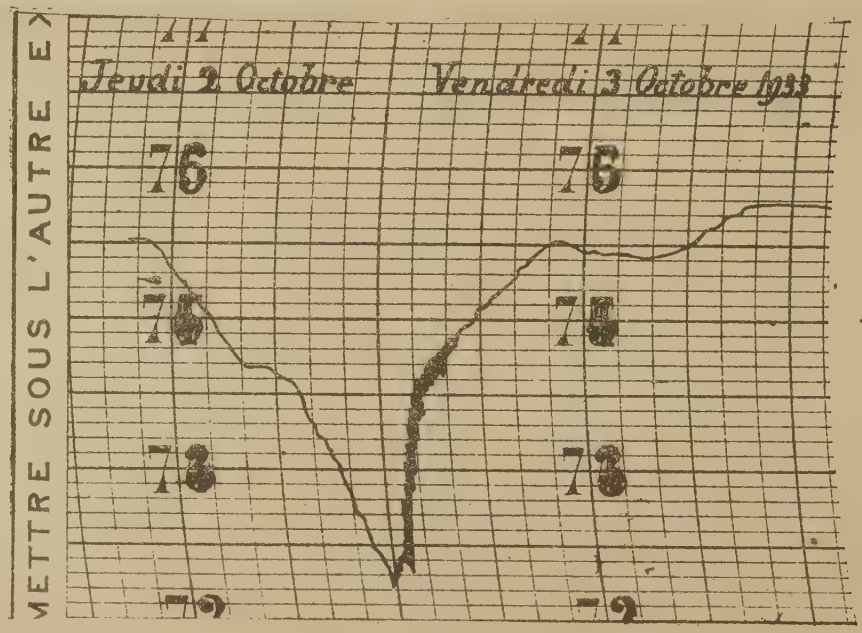

1 minute
Période 15s

III A



Typhon des 2 et 3 Octobre 1933

Hauteurs d'eau enregistrées à Hondau



B

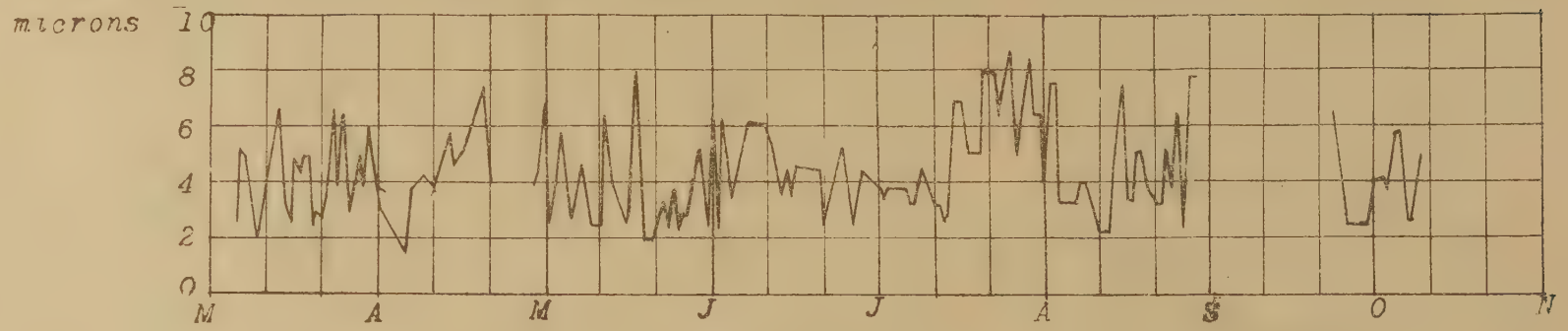
Phu-Lien

Long. E.G: 106°37'44"

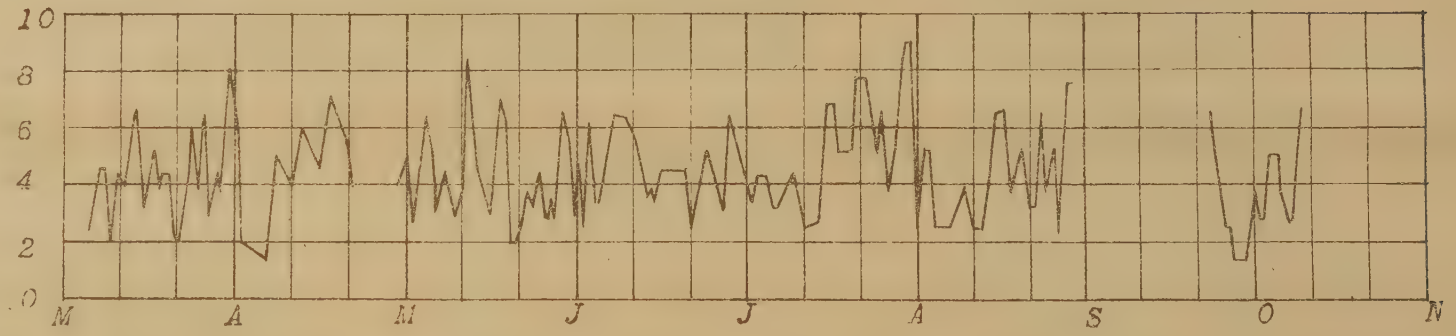
Lat. N: 20°48'22"

Altitude: 115 m.

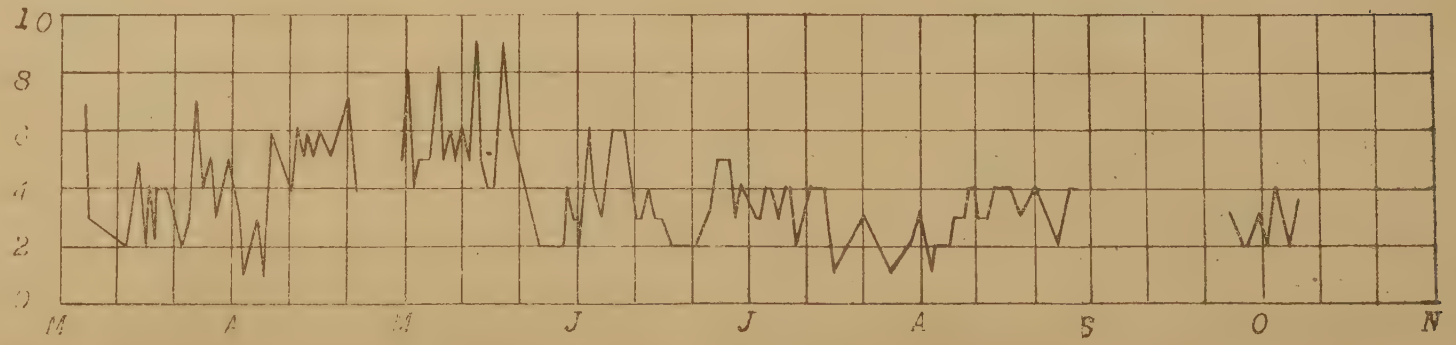
LOME (TOGO) 1933 - Amplitudes maxima du mouvement microséismique (E.W.) II2

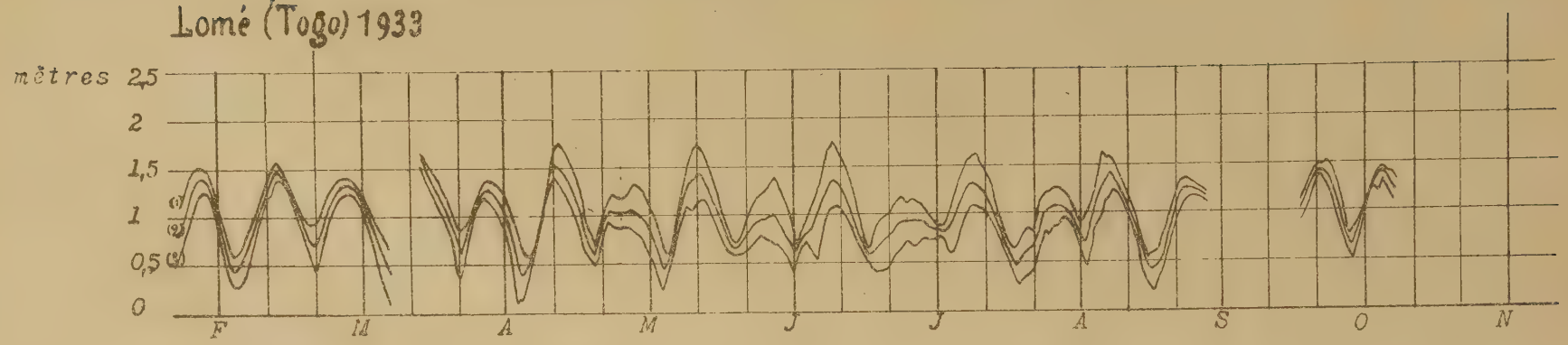


Amplitudes maxima du mouvement microseismique (N. S.)

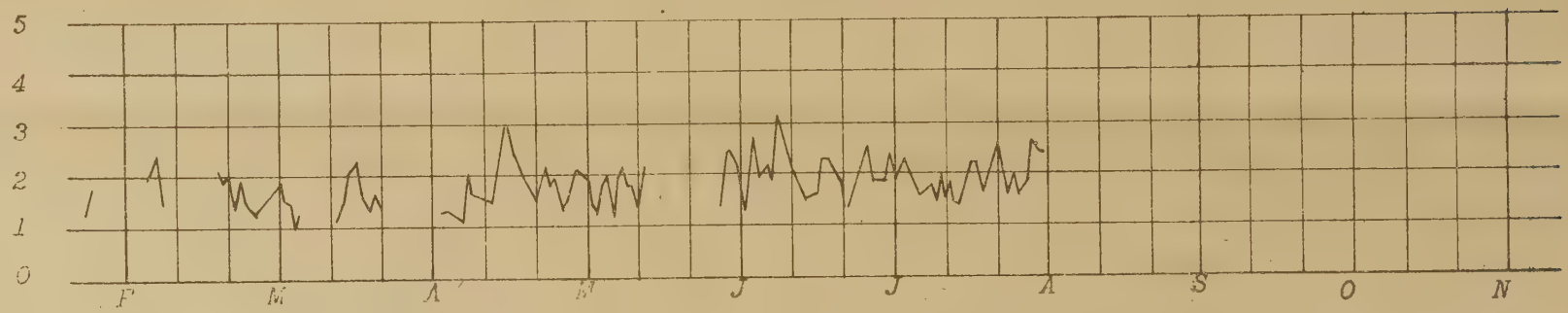


Amplitudes maxima du mouvement particulier du sol (N.S.)

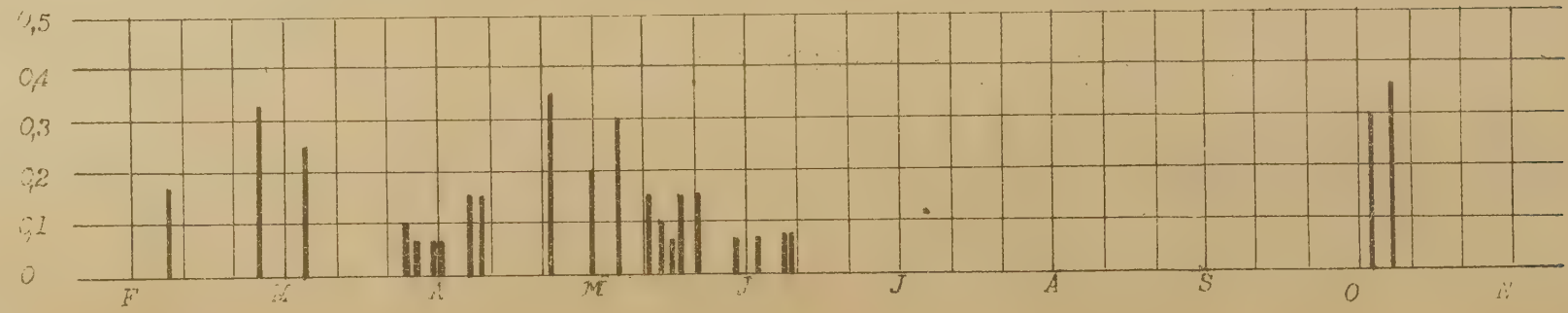




Amplitudes maxima de la houle

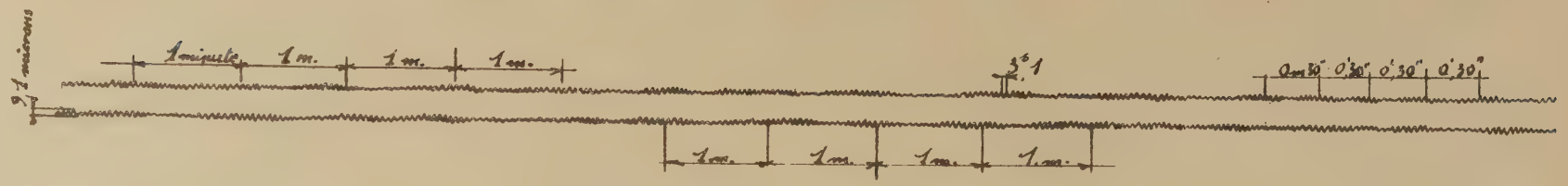


Amplitudes maxima du mouvement particulier de la mer

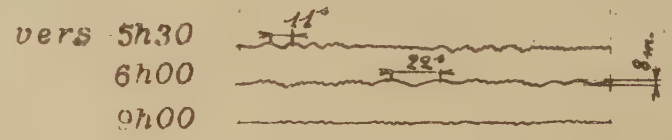


Lomé (Togo)

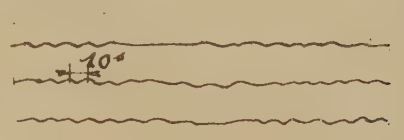
Mouvement microseismique (E.W.) le 24 Juillet 1933 de 5h à 8h



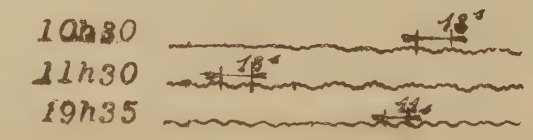
Mouvement particulier du sol



30 Avril



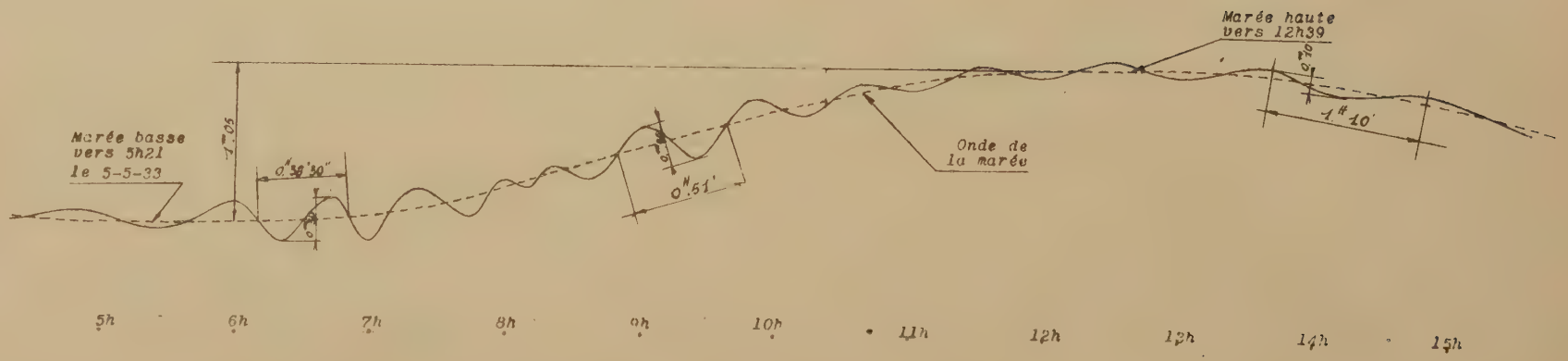
6 Mai



11 Mai

17 Mai

Mouvement particulier de la mer



LE LITTORAL DE LA COTE D'IVOIRE

DANS LA REGION D'ABIDJAN

PLANCHE I

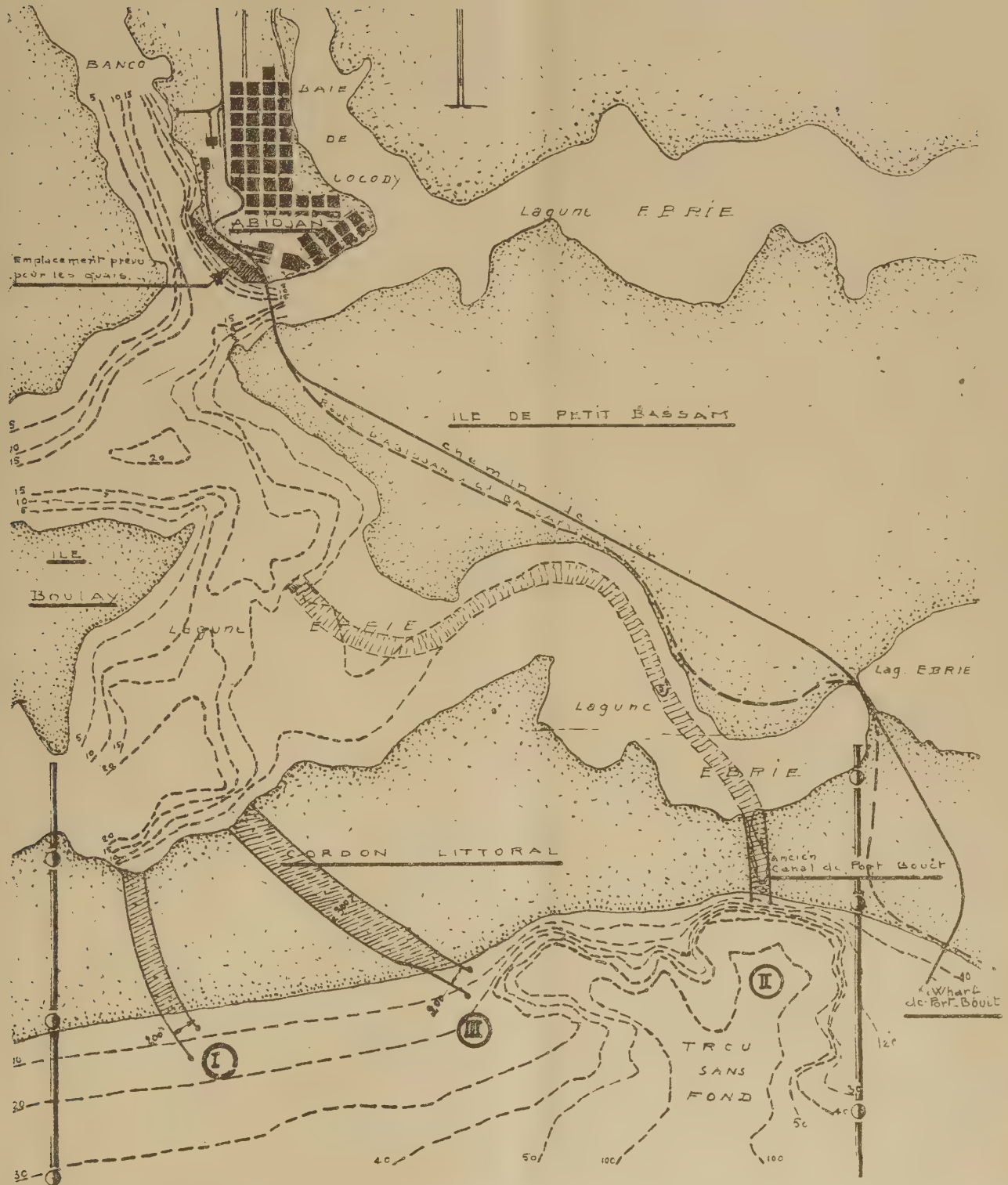
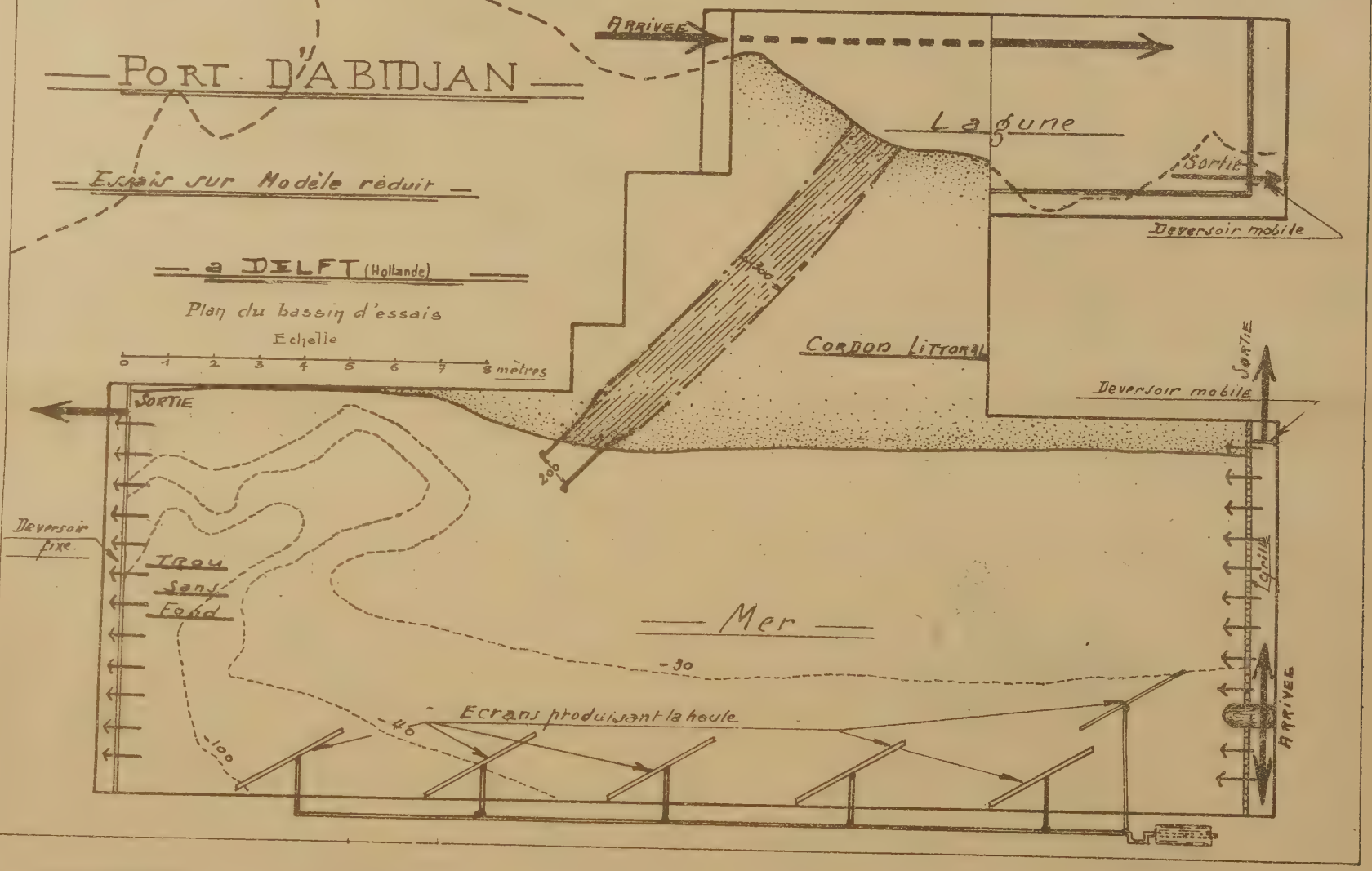


Planche II

PORT D'ABIDJAN

Essais sur Modèle réduit

à DELFT (Hollande)



Le mouvement de la Mer et l'agitation microséismique dans le Golfe de Bénin [1]

Courants marins. — Les courants marins longeant la côte viennent habituellement de l'Ouest ou Ouest-Sud-Ouest ; leur itinéraire est très variable et se déplace continuellement tout en restant sensiblement parallèle à la côte.

En général, ils ne s'éloignent guère du rivage ; assez souvent même, ils le côtoient de très près. C'est ainsi que, sous leur influence, on peut constater de fréquents changements dans l'aspect de la structure de la côte : changement de place ou disparition de bancs de sable, comblement de la petite dépression sous-marine située près du rivage, dépression due à l'écrasement des rouleaux de la barre. En ces parages le mouvement de la barre est fortement atténué et l'aspect de la mer présente quelque ressemblance avec celui de certaines plages d'Europe.

C'est à l'influence des courants qu'est due également la détérioration partielle ou totale de certains points de la grande route côtière : Dahomey-Togo-Gold Coast, ainsi que la fermeture du petit canal mettant en communication la lagune de Cotonou avec la mer, etc.

Il est à noter également quelques rares incursions des grands courants Est-Sud-Est du large. Ces incursions pour la plupart de courte durée et très souvent brusques, ont été presque toujours préjudiciables à la navigation. Elles ont été la cause de l'échouement de plusieurs navires, d'abordages de wharf... créant ainsi des dégâts assez importants.

L'étroite liaison des deux stations côtières météorologiques de Lomé et de Cotonou avec les autres stations de la côte contribuera dans l'avenir à éviter le retour de semblables accidents tout en assurant désormais, d'une manière plus efficace, la protection des navigations maritimes et aériennes côtières.

Marées. — De l'ensemble des observations et enregistrements effectués à Lomé, il résulte que les marées du golfe de Bénin sont relativement faibles : leur amplitude moyenne oscille autour de 1 mètre. Certaines d'entre elles ont pu atteindre un grand maximum 1 m. 80, et d'autres ne guère dépasser 0 m. 10 (voir page 113).

La partie du rivage battue par le flux et le reflux est de l'ordre de 15 à 20 mètres.

Houle. — La houle est généralement assez forte durant presque toute l'année. Toutefois, à certains jours de la fin décembre et du début janvier, entre 4 et 7 heures du matin, elle est assez faible, voir même nulle, la mer revêtant alors l'aspect d'un lac par suite de l'influence de l'harmattan neutralisant celle de la mousson.

L'amplitude moyenne des fortes houles est de l'ordre de 1 m. 70. Les plus fortes houles enregistrées ont atteint une amplitude de 3 m. 20.

Des perfectionnements actuellement en cours au marégraphe et concernant l'enregistrement plus détaillé de la période de la houle, permettront à l'avenir de suivre la répercussion des divers trains d'ondes de cette dernière sur le sol, par suite de leur écrasement (barre) sur le rivage, en les comparant avec les trains d'ondes du mouvement microséismique.

Mouvement microséismique. — Le mouvement microséismique assez variable, mais néanmoins constamment notable d'un bout à l'autre de l'année a une période moyenne de l'ordre de 3 secondes (exactement 2,9 secondes).

L'amplitude moyenne de la composante Nord-Sud (N.-S.) du mouvement enregistré est de 3,8 microns, celle de la composante Est-Ouest (E.-W.) de 3,9 microns.

Les amplitudes maxima et minima du mouvement enregistrées sur les séismographes sont de l'ordre de 9 et 1,5 microns, soit exactement 9,1 microns le 29 juillet 1933 et 1,3 microns le 5 avril 1933 pour la composante Nord-Sud, 9,1 microns le 24 juillet 1933 et 1,3 microns le 5 avril 1933 pour la composante Est-Ouest.

En général, les variations d'intensité du mouvement microséismique coïncident avec celles de la houle ; c'est ainsi qu'aux dates ci-après, cette coïnci-

(1) La présente étude est basée sur les observations recueillies à Lomé (Togo) durant l'année 1933.

dence de certains maxima intéressants a pu être constatée (voir pages 112 et 113) :

Du 7 avril à 18 heures au 8 à 5 heures, l'amplitude du mouvement microséismique, composante N.-S., était de 5,4 microns, celle de la composante E.-W. de 4 microns, celle de la houle de 2 m. 15.

Du 3 mai à 17 heures au 4 à 11 heures, mouvement microséismique, amplitude N.-S. : 6,5 microns, amplitude E.-W. : 5,9 microns ; — du 3 mai à 17 heures au 4 à 24 heures, amplitude houle : 2 mètres.

Le 6 mai, de 12 heures à 21 heures, mouvement microséismique, amplitude N.-S. : 4,5 microns, amplitude E.-W. : 4,6 microns ; — du 6 mai à 12 heures au 7 à 3 heures, amplitude houle : 2 m. 15.

Du 27 mai à 16 h. 30 au 29 à 10 heures, mouvement microséismique, amplitudes N.-S. : 6,5, 3,2, 5,8, 5,3, 3,9 microns, amplitudes E.-W. : 4,6, 3,3, 5,9, 4,0, 5,2 microns ; — amplitudes houle : 2 m. 40, 2 m. 50, 2 m. 45.

Du 2 juin à 21 heures au 3 à 16 heures, mouvement microséismique, amplitude N.-S. et E.-W. : 6,5 microns ; amplitude houle : 2 m. 85.

Du 7 juin à 0 heure au 9 à 20 heures, mouvement microséismique, amplitudes N.-S. et E.-W. : 6,5 microns ; — amplitudes houle : 3 m. 00, 3 m. 20, 2 m. 70, 2 m. 35.

Du 15 juin à 20 heures au 19 à 17 heures, mouvement microséismique, amplitudes N.-S. : 4,5 microns, E.-W. : 4,6 microns ; — amplitudes houle : 2 m. 00, 2 m. 30, 2 m. 10, 1 m. 90, 1 m. 85, 1 m. 80.

Du 2 juillet à 22 heures au 4 à 16 heures, mouvement microséismique, amplitudes N.-S. : 4,5 microns, E.-W : 3,9 microns ; — amplitudes houle : 2 m. 35 et 2 m. 15.

Du 14 juillet à 8 heures au 16 à 1 heure, mouvement microséismique, amplitudes N.-S. et E.-W. : 7,0 microns ; amplitudes houle : 1 m. 85 et 2 m. 25.

Du 19 juillet à 23 heures au 21 à 18 heures, mouvement microséismique, amplitudes N.-S. : 7,9 microns, E.-W. : 8 microns ; — amplitudes houle : 2 m. 20, 2 m. 30, 2 m. 65, 2 m. 25.

Du 27 juillet à 4 heures au 30 à 6 heures, mouvement microséismique, amplitudes N.-S. : 7,7, 8,4, 9,1, microns, amplitudes E.-W. : 8,4, 8,5, 6,5 microns ; — amplitudes houle : 2 m. 20, 2 m. 65, 2 m. 25, 2 m. 45, 2 m. 50.

Dans tous les cas énumérés ci-dessus, vu la différence de vitesse de propagation de la houle et du mouvement microséismique (1), il s'ensuit que l'arrivée à Lomé de la forte houle a eu lieu peu de temps après la naissance du mouvement microséismique, en certaines des régions de l'écorce terrestre, assez voisines de Lomé, aptes à entrer en vibration. Ce mouvement microséismique était dû, la plupart du temps, à la répercussion de l'agitation de la mer ou au passage de dépressions, grains, sur ces régions en question, assez fragiles.

A certains jours pourtant, les variations d'intensité des deux mouvements ne coïncident pas tout à fait quant à l'arrivée à Lomé de leurs valeurs maxima, ceci provient de causes diverses dépendant soit de l'itinéraire de la dépression créatrice des deux mouvements, soit de l'éloignement de la région où prend naissance le mouvement microséismique ou encore de la production des deux mouvements par un phénomène distinct.

Ainsi, aux dates ci-après, les maxima ont été relevés comme suit :

Le 23 juin de 3 heures à 19 heures, mouvement microséismique, amplitude N.-S. et E.-W. : 5,2 microns ; — du 24 juin vers 15 heures au 25 vers 4 heures, amplitude houle : 2 m. 65.

Le 27 juin de 4 heures à 23 heures, mouvement microséismique, amplitudes N.-S. : 6,5 microns. E.-W. : 5,2 microns ; — le 29 juin de 8 heures à 20 heures, amplitude houle : 2 m. 45.

Le 8 juillet de 2 heures à 21 heures, mouvement microséismique, amplitudes N.-S. : 4,5 microns, E.W. : 4,6 microns ; — le 9 juillet de 15 heures à 20 heures, amplitudes houle : 2 mètres.

Mouvements particuliers de la mer et du sol. — Le mouvement de la mer se présente sous la forme d'une onde irrégulière qui, sur les marégrammes, se superpose à l'onde de la marée.

Les ondes du mouvement de la mer ont une période et une amplitude variables, l'amplitude croît au début, décroit vers la fin et atteint sensiblement sa valeur maximum vers le milieu du phénomène, l'étude détaillée de quelques ondes est donnée ci-dessous (voir fig. p. 114).

Le mouvement du sol, sorte de forte agitation microséismique, présente toute une suite d'ondes de périodes variables, mais dont la plus fréquemment observée est de 10 à 12 secondes lorsque le mouvement est assez intense, en particulier durant les mois de mars, avril et mai. D'autres périodes, comprises entre 10 et 20 secondes, voire même allant jusqu'à 30 secondes, correspondant plutôt à une intensité moyenne à faible du mouvement ; c'est ainsi qu'on les relève assez souvent des mois de juin, juillet à la fin de l'année. Cette agitation a donc au moins une période moyenne quatre fois plus grande que celle du mouvement microséismique ordinaire enregistré à Lomé (3 secondes).

Soit $P = 3 \times 4 = 12$ s.

Les amplitudes de grandeur normale (0 à 9 microns)

(1) Vitesse variable selon l'intensité du vent pour la houle et la nature des couches de terrains traversés pour le mouvement microséismique.

suivent les mêmes variations que celles du mouvement correspondant de la mer.

Certains trains d'ondes, de périodes et d'amplitudes sensiblement constantes, ressemblent beaucoup à ceux qui terminent l'inscription des ondes superficielles des séismes.

Les traces de ces ondes sont, à certains jours, nettement marquées sur le séismographe Nord-Sud ; par contre, elles se révèlent en général inexistantes sur le séismographe Est-Ouest, exception faite pour les mois de mars et avril. Ces traces sont surtout notables de 0 heure à environ 10 heures du matin ; le refroidissement nocturne contribue donc à favoriser sinon la naissance mais le développement et l'amplification des dites ondes.

Voici quelques cas assez intéressants où les deux mouvements se manifestent ensemblent avec une certaine importance (voir pages 113 et 114) :

Du 22 mars, vers 20 heures, au 23, vers 9 heures, le mouvement du sol présente une intensité assez forte, en particulier de 0 heure à 8 heures, le 23, avec des amplitudes pouvant atteindre 7 microns pour la composante N.-S., et 5 microns pour la composante E.-W. ; — Le mouvement correspondant de la mer commence le 22, vers 20 heures, avec une période de 0 h. 11 minutes 30 secondes et une amplitude de 0 m. 05, passe ensuite par un maximum, le 23, vers 4 heures, avec une période de 1 h. 15 et une amplitude de 0 m. 10 ; la fin de l'enregistrement est peu nette.

Du 25 mars à 22 heures au 26 vers 8 heures, mouvement du sol particulièrement intense, de 1 heure à 7 heures, le 26, avec amplitudes maxima composante N.-S. : 5 microns, E.-W. : 4 microns. — Le mouvement de la mer présente, durant le même temps, une onde dont l'amplitude maximum atteint 0 m. 06 et la période 1 h.

Le 29 mars de 4 heures à 8 heures, du 29 mars à 22 heures au 30 à 8 heures, du 30 vers 21 heures au 31 vers 8 heures : mouvement du sol, amplitudes maximum N.-S. : 5 microns, E.-W. : 4 microns ; — du 29 mars vers 4 heures au 31 vers 24 heures : mouvement de la mer, amplitudes maximum : 0 m. 06, période : 1 heure.

Le 6 avril, de 3 heures à 9 heures, mouvement du sol, amplitudes N.-S. : 4 microns, E.-W. : 3 microns ; le 7, de 0 heure à 8 heures, amplitudes N.-S. : 6 microns, E.-W. : 3 microns ; le 8, de 2 heures à 8 heures, amplitudes N.-S. : 5 microns, E.-W. : 3 microns ; — du 6, vers 3 heures au 8 vers 8 heures, mouvement de la mer, amplitudes : 0 m. 10, périodes : 0 h. 35 minutes et 1 heure.

Le 5 mai, de 1 heure à 11 heures, mouvement du sol, amplitudes N.-S. : 7 microns, E.-W. : 0 microns ; le 6, de 0 heure à 8 heures, amplitudes N.-S. : 8 microns. — Le 5 mai, de 1 heure à 5 h. 30, ainsi que de 12 h. 30 jusqu'à 6 heures, le 6 mai, mouvement de la mer, amplitudes moyenne 0 m. 10, période moyenne : 1 h. 10 à 1. h 20. — Le 5 mai, vers 6 h. 30, amplitude 0 m. 30, période : 0 heure 38 minutes 30 secondes ; vers 7 h. 30, amplitude : 0 m. 25, période 0 h. 44 minutes 30 secondes ; vers 8 h. 45, amplitude 0 m. 10, période 0 h. 22 minutes 30 secondes ; vers 9 h. 30, amplitude 0 m. 30, période 0 h. 51 minutes ; l'aspect général de l'enregistrement de ce dernier mouvement présente deux trains d'ondes principaux se suivant à environ 3 heures d'intervalle (les amplitudes maximum ayant eu lieu vers 6 h. 30 et 9 h. 30, avec 0 m. 30 comme indiqué ci-dessus).

Du 11 mai au 20 mai, l'étude des deux mouvements est donnée plus loin.

Le 28 mai, de 0 heure à 8 heures, mouvement du sol, amplitudes N.-S. : 4 microns ; — mouvement de la mer amplitudes 0 m. 05 à 0 m. 10.

Du 1er juin à 19 heures au 2 vers 9 heures, mouvement du sol, amplitude N.-S. : 6 microns ; — mouvement de la mer, amplitude, 0 m. 15, période 0 h. 30.

Du 6 juin à 20 heures au 7 vers 8 heures, ainsi que du 7 à 21 heures au 8 à 8 heures, mouvement du sol, amplitude N.-S. : 6 microns ; — mouvement de la mer, amplitude 0 m. 10 à 0 m. 15, période 1 heure.

Du 9 juin au 2 octobre, l'intensité des deux mouvements est faible et, à certains jours, à peine notable, surtout en ce qui concerne le mouvement de la mer.

Dès le 2 octobre une recrudescence des deux mouvements se manifeste à nouveau, celle ayant trait aux journées des 2 et 3 octobre est étudiée plus loin. Le 5 octobre : accalmie.

Le 6 octobre, nouvelle augmentation d'intensité des deux mouvements : mouvement du sol, de 3 heures à 7 heures, amplitude N.-S. : 3 microns, de 21 heures au 7 à 8 heures, amplitude N.-S. : 4 microns ; — mouvement de la mer, le 6 de 18 heures à 22 heures, amplitude maximum 0 m. 35, période moyenne 0 h. 48. Par la suite l'intensité diminue progressivement.

Dans l'ensemble, les deux mouvements accusent une assez forte intensité durant les mois d'avril et de mai, ainsi qu'en octobre.

La formation des ondes irrégulières du mouvement de la mer doit être due soit à des soulèvements ou des affaissements progressifs de certains fonds sous-marins, ces derniers, en grande partie de nature séismique, s'étendant sur une assez grande surface. Ces mouvements des fonds sous-marins, *accompagnés d'une assez forte agitation du sol,* ont lieu avec une certaine constance et durant des laps de temps variables suivant les endroits et les époques de l'année ; leur durée est sensiblement égale aux périodes des dites ondes marines.

Les mouvements des fonds sous-marins peuvent également contribuer à en produire d'autres en des points plus fragiles de l'écorce terrestre ; ces derniers sortes d'effondrements ou soulèvements brusques et importants sont susceptibles d'engendrer des

séismes tel que celui qui eut lieu un peu au nord de l'île Ascension, le 19 mai 1933, vers 18 heures (heure origine 17 h. 57 m. 57 s.) par 1°5 S. et 11° W. Gr., à 2.000 kilomètres de Lomé. Ce séisme a été précédé et accompagné des deux mouvements particuliers du sol et de la mer, comme il est indiqué ci-après :

Du 11 mai à 8 heures au 12 à 9 heures, agitation exceptionnelle du mouvement du sol, la composante N.-S. atteint 9 μ, le mouvement de la mer correspondant présente de 8 heures à 15 heures, le 11 mai une amplitude de 0 m. 15 et une période de 0 h. 30 ; par la suite, l'enregistrement de l'onde, tout en restant d'importance moyenne, devient assez confus.

Du 13 au 20 mai, les deux mouvements se maintiennent avec une certaine intensité ; le mouvement du sol, après un fléchissement durant les 14 et 15 mai, marque une recrudescence dès le 16, et celle-ci persiste jusqu'au 20, lendemain du tremblement de terre. L'agitation maximum du mouvement du sol eut lieu le 17, de 0 heure à 10 heures avec une amplitude de l'ordre de 9 microns (composante N.-S.). Pour les autres jours les amplitudes furent les suivantes : le 13, 5 microns, les 14 et 15, 4 microns, du 16 au 20, 6 microns (le 20, le mouvement eut lieu de 0 heure à 20 heures avec des maxima d'intensité de 8 heures à 12 heures et 16 heures à 20 heures). — Le mouvement de la mer durant la même période se présenta comme suit : période moyenne, 0 h. 55 amplitude moyenne, 0 m. 10, sauf le 15 de 18 heures à 24 heures avec une amplitude de 0 m. 05 et les 17, vers 1 heure et 20 vers 5 heures, avec une amplitude de 0 m. 15.

Des mouvements particuliers du sol et de la mer ont été également enregistrés à Lomé lors de l'inscription très nette des importants séismes ci-après :

Séisme du 2 mars 1933 — épicentre 39° N et 142°5 E — destructeur au Japon. Heure origine (H. O.) : 17 h. 30 minutes 54 secondes. Distance trouvée à la station de Lomé : 14.150 kilomètres.

Mouvement du sol le 2 de 0 heure à 8 heures, amplitude N.-S. : 4 microns ; du 2 à 22 heures au 3 à 8 heures, amplitudes N.-S. : 7 microns, E.-W. : 3 microns ; — mouvement de la mer du 2 à 23 heures au 3 à 3 heures, période moyenne : 0 h. 45, ampl. maximum : 0 m. 25.

Séisme du 2 octobre 1933 — épicentre 4° N., 84° W. — Océan Pacifique à l'ouest de l'Amérique Centrale — H. O. 15 heures 29 minutes 26 secondes. Distance trouvée à la station de Lomé : 9.100 kilomètres.

Mouvement du sol, amplitudes N.-S., le 2 de 3 heures à 7 heures : 3 microns ; de 20 heures le 2 à 8 heures le 3 : 4 microns ; — mouvement de la mer, le 2, de 4 heures à 21 heures, période moyenne 0 h. 40, amplitude maximum 0 m. 30.

Ces deux derniers cas ne sont donnés qu'à titre d'information.

CARON

Chef du Service météorologique du Togo.

Le port d'Abidjan

Etudes actuelles et essais sur modèle réduit

Depuis 30 ans les pouvoirs publics se sont préoccupés de créer un vrai port en Côte d'Ivoire.

Les opérations d'embarquement et de débarquement ne peuvent se faire actuellement que par l'intermédiaire d'allèges faisant le va-et-vient entre le navire et la plage où elles viennent s'échouer, ou, dans les cas les plus favorables, entre le navire et un wharf. Dans les cas des plus favorables, celles-ci viennent se ranger à l'extrémité de wharfs. Mais, de toute manière, la mer étant toujours houleuse, les marchandises subissent beaucoup d'avaries, les navires perdent du temps et les manutentions coûtent très cher.

Or, comme il est expliqué plus loin, la Côte d'Ivoire possède tout près du rivage une lagune de plusieurs centaines de kilomètres, présentant des profondeurs notables surtout en face d'Abidjan, point terminus du chemin de fer. Il y a là une rade naturelle que la percée du cordon littoral transformerait en un excellent port.

Des tentatives antérieures de percement, insuffisamment étudiées, n'ayant pas donné de résultats satisfaisants, on s'est récemment préoccupé de reprendre la question sur des bases scientifiques.

Pour s'adapter très étroitement aux conditions locales, on a accompagné les études techniques de recherches en laboratoire sur un modèle réduit et ces expériences, actuellement en cours au laboratoire d'hydraulique de Delft, en Hollande, ont déjà donné des résultats très intéressants.

Problème a résoudre. Conditions locales

Le problème à résoudre se présente de la façon suivante :

Le schéma de la fig. 1 indique sommairement la constitution de la côte.

En venant de l'Ouest, le rivage se présente d'abord sous la forme d'une côte rocheuse. A partir du cap des Palmes, où semble s'amorcer le cheminement du sable vers l'Est, les plages de sable prennent de plus en plus d'importance et, un peu à l'Est de Sassandra commence la grande plage ininterrompue sur 300 kilomètres jusqu'au cap des Trois Pointes, en Gold Coast, point où cesse ce cheminement.

Une lagune, large en moyenne de 4 kilomètres, s'étend sur une grande longueur en arrière de cette plage ; elle est séparée de la mer par un cordon littoral dont la largeur varie de 800 mètres à quelques kilomètres.

Deux grands fleuves, la Bandama et le Comoé, se jettent en mer après avoir comblé, par leurs deltas, une partie de la lagune qui est ainsi séparée en trois tronçons. La partie centrale de la lagune, la plus importante, est longue de 120 kilomètres et présente une superficie de 650 kilomètres carrés.

L'amplitude moyenne des marées de vive-eau est de 1 m. 20 et celle des marées de morte-eau de 0 m. 40.

Le courant de Guinée portant à l'Est se fait sentir au voisinage de la côte où l'on observe, à 2 kilomètres de la côte, un courant d'environ 1 nœud, soit 0 m. 50 sec. Ce faible courant n'a qu'une influence tout à fait secondaire sur les cheminements de sable.

La houle conserve pendant presque toute l'année une énergie suffisante pour remuer des quantités considérables de sable. Elle vient d'une direction presque constante oscillant autour du Sud-Sud-Ouest. Sa hauteur moyenne est d'environ 1 mètre avec une longueur d'onde d'une centaine de mètres. En déferlant obliquement sur le rivage, elle crée le cheminement de sable dont l'importance atteint environ 1.500.000 mètres cubes par an.

La côte est caractérisée, en outre, en face d'Abidjan, par l'existence en mer d'une fosse dénommée Trou sans Fond. Elle présente des fonds de 300 mètres à 2 kilomètres du rivage, alors que sur le reste de la côte on ne trouve cette profondeur qu'à 30 kilomètres au large.

Depuis longtemps on a été intrigué par l'existence de cette fosse tout à fait remarquable en face d'une côte absolument plate ; on a cherché à l'expliquer par un courant local ou un tourbillon qui entretiendrait les grandes profondeurs en cet endroit.

En réalité, le Trou sans Fond se comble lentement de la façon suivante :

Les pentes du Trou sans Fond (fig. 2) sont constituées au Nord par le sable de la plage qui, à partir des profondeurs où n'agit plus la houle, se dispose suivant la pente d'éboulement. Ce talus de sable semble descendre jusque vers les profondeurs de 100 mètres et avance constamment d'environ 1 mètre par an.

Solutions envisagées pour la coupure du cordon littoral

Pour entretenir les profondeurs, il vient tout naturellement à l'esprit d'utiliser le courant de chasse qui, du fait de la marée, existerait dans un canal reliant la mer et la lagune.

Ce courant de chasse atteindra environ 4 nœuds (2 mètres par seconde). Il sera donc maniable pour les navires mais suffisant pour entraîner vers l'intérieur des quantités considérables de sable.

Compte tenu de ces considérations, les trois principales solutions envisagées sont indiquées sur la planche I (page 115).

Dans ces trois solutions, le débouché du canal en mer est protégé par deux digues sensiblement parallèles ; ainsi le courant de chasse ne se trouve pas ralenti par son passage dans le bassin constitué par un avant-port à jetées convergentes. Le courant de jusant est en outre guidé avec le minimum de pertes de charge jusqu'à la hauteur du musoir de la jetée Ouest, là où le sable tend à se déposer et devra être enlevé par le courant côtier.

Avec la solution I (Pl. I), le sable est rejeté au large où il tendra à former, au bout d'un certain temps, un banc de sable à une cote assez élevée et probablement gênante pour les navires.

La solution II constitue en somme une reprise avec des moyens différents, des premières tentatives de percée du cordon littoral. Elle présenterait, par rapport à la précédente, l'avantage du voisinage du Trou sans Fond ; mais les digues devraient être très courtes. D'autre part, la houle, en s'engouffrant directement entre les jetées, risquerait de créer une agitation importante dans le canal, et celle-ci, s'opposant à l'effet du courant de jusant, dégraderait les rives et gênerait les navires. En outre, le bras lagunaire aboutissant au canal est peu profond et constitué en grande partie par de la vase molle. Il faudrait y établir un chenal peu stable dont l'entretien serait difficile et coûteux.

Enfin la solution III a l'inconvénient de nécessiter le creusement d'un canal plus long, mais présente de gros avantages au point de vue des ensablements. La barre de sable, qui tend à s'établir au large des jetées, comme dans la solution I, ne pourra se former, puisque les profondeurs très importantes absorberont le sable pendant un temps extrêmement long.

De plus, l'inclinaison, importante par rapport à la

côte, qu'il est possible de donner aux jetées empêchera la houle de pénétrer dans le chenal.

C'est probablement cette solution qui sera adoptée car les essais sur modèle réduit, actuellement en cours, quoique non achevés, ont déjà donné des résultats très faborables à cette solution.

Recherches sur modèle réduit

Les essais sur modèle réduit, en vue de la détermination du meilleur tracé, ont été effectués dans les conditions suivantes :

Les phénomènes entraînant des mouvements de sable sont :

La houle ;

Les courants ;

Les marées agissant par les courants de chasse.

Le modèle ne pouvait donner de résultats valables que si, en chaque point, les effets de ces différents phénomènes sur le sable, se traduisant par la direction et l'importance du transport de sable, étaient réduits dans le même rapport. Cette condition est très difficile à réaliser et pendant près d'un an on a travaillé uniquement à cette mise au point du modèle, consistant dans le choix du matériau représentant le sable et des différentes échelles des longueurs, des hauteurs et des vitesses.

Finalement, au bout de cette longue période, on a pu avoir l'assurance que tout se passait sensiblement comme dans la réalité. Une vérification a pu être obtenue en reproduisant les tentatives antérieures de percée du cordon littoral : l'ouverture sous l'action d'une crue et la fermeture sous l'action de la houle se sont produites d'une façon conforme à la réalité, et avec des durées correspondantes. Un certain nombre d'autres phénomènes ont pu également êtres reconstitués parfaitement : on pouvait dès lors commencer les expériences proprement dites sur le modèle dont la planche II (page 116) donne les dispositions principales.

La mer est représentée par un bassin de 26 mètres de long, 9 mètres de large et 1 m. 50 de profondeur. Les marées sont obtenues par les déplacements alternatifs d'un déversoir commandé par un excentrique. La houle est provoquée par une série d'écrans articulés à leur partie inférieure et animés d'oscillations alternatives rapides (une par seconde environ). La houle ainsi produite vient déferler sur le rivage d'une façon identique à la réalité (fig. 3).

De plus, le courant littoral est provoqué au moyen d'un déversoir fixe situé à l'extrémité du bassin opposée à l'arrivée de l'eau.

La lagune est constituée par un bassin de plus petites dimensions comportant également un déversoir mobile pour créer les marées.

Le matériau représentant le sable est constitué par de la pierre ponce légèrement plus lourde que l'eau, broyée et criblée (grains de 1 millimètre en moyenne). L'échelle des longueurs est de 1/270 et celle des hauteurs de 1/120.

Au point de vue des ensablements, une durée de une heure correspond à un an dans la réalité.

Ce travail préparatoire de mise au point a constitué de beaucoup la partie la plus délicate des essais. Les caractéristiques une fois choisies il ne restait plus qu'à essayer les différentes solutions envisagées, ce qui se fait actuellement.

RÉSULTATS GÉNÉRAUX OBTENUS

L'effet de la houle sur un rivage sablonneux a dû être étudié de très près en complétant ces essais par l'étude du rivage réel de la Côte d'Ivoire. On est arrivé à un certain nombre de résultats que nous allons passer rapidement en revue.

Profil en travers de la plage sous-marine

Supposons une côte formée d'un sable de grosseur uniforme, recevant perpendiculairement au rivage une houle constante.

On est amené à diviser la plage en trois zones (fig.4) :

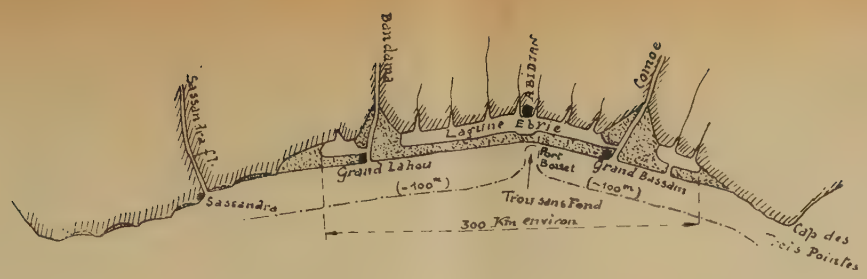
a) Une première zone est le siège de phénomènes de suspension du sable dans l'eau et s'étend depuis le point le plus haut atteint par les vagues jusqu'au delà du point de déferlement. En Côte d'Ivoire, la pente générale de cette première zone est d'environ 10 % avec, souvent, un ressaut à l'endroit du déferlement ;

b) Une deuxième zone est le siège de mouvements sur le fond. La pente de cette zone, en Côte d'Ivoire, diminue peu à peu à partir de 10% jusqu'à une valeur très faible ;

c) Enfin, une troisième zone est constituée par un talus d'éboulement dont la pente croît très rapidement depuis une valeur très faible jusqu'à la pente d'éboulement naturel des sables.

Cette forme de la plage sous-marine est due à la houle agissant sur le fond de la mer par un courant montant et un courant descendant, mais le courant montant est prédominant. Ceci explique la pente de la plage, qui croît à mesure qu'on se rapproche du rivage ; la dissymétrie des deux courants varie en effet en raison inverse de la profondeur.

Fig. 1



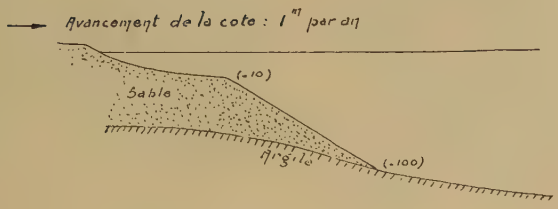


Fig. 2

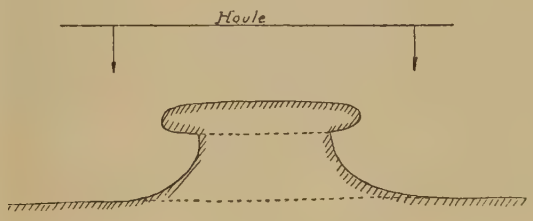


Fig. 14

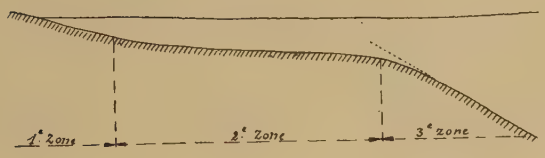


Fig. 4

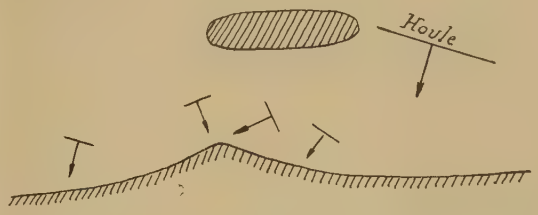


Fig. 15

Fig. 5

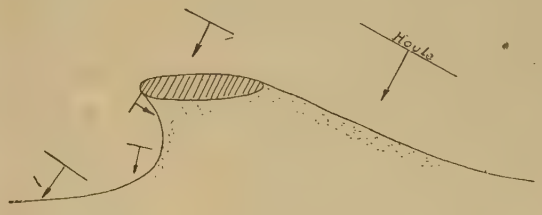


Fig. 16

Fig. 6

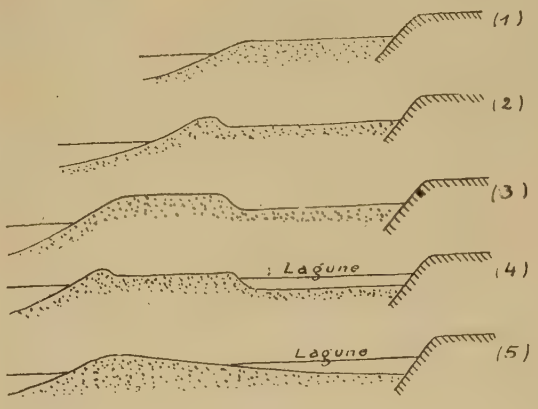


Fig. 17

Fig. 7

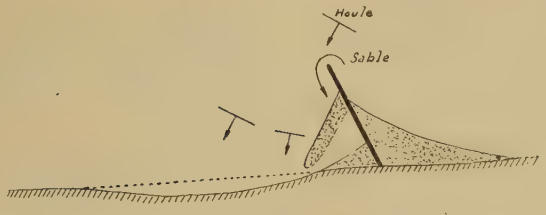


Fig. 8

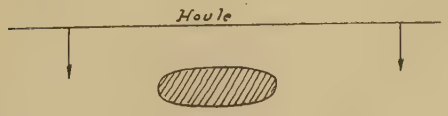


Fig. 13

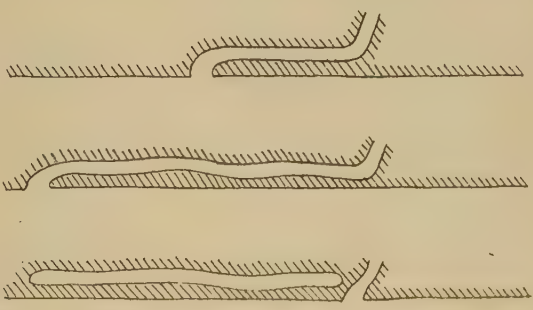


Fig. 22

Ces trois zones se comportent très différemment au point de vue des transports de sable, et au point de vue des modifications apportées à la forme du rivage.

Transports de sable

Si la houle arrive en biais sur la côte, il en résulte des cheminements de sable. En l'absence de courant littoral très important, à peu près tout le cheminement se produit dans la première zone où le sable est mis en suspension.

Au contraire, dans la seconde zone, le transport est insignifiant, les grains de sable ne faisant qu'aller et venir avec néanmoins une légère tendance à progresser parallèlement à la côte.

Le transport est naturellement nul dans la troisième zone.

La seconde zone reprend une importance très grande dans le cas où il existe un courant notable (courant littoral ou courant de chasse) ; ce courant, à lui seul, pourrait ne pas déplacer le sable, mais la houle désagrège le sable qui peut ensuite être transporté par le courant.

C'est précisément ce phénomène qui doit se produire en avant des jetées d'Abidjan et qui se produit déjà à Lagos, en Nigeria anglaise, sur une côte analogue. A une certaine distance en avant des jetées, le courant de flot y est beaucoup plus important que le courant de jusant parce que plus concentré. Agissant en même temps que la houle, il est capable d'entraîner au large (et à Abidjan vers le Trou sans Fond) des quantités considérables de sable qui, sans cela, obstrueraient le chenal.

Pour un sable donné et une houle moyenne donnée, les transports de sable, parallèlement à la côte, sous l'action de la houle seule, semblent dépendre uniquement de l'inclinaison des lames sur le rivage : partant de 0 quand cet angle est nul, les quantités transportées augmentent jusqu'à un maximum pour un angle d'environ 65°. Toute inclinaison supérieure est instable et ne peut s'obtenir dans la pratique.

Forme d'une plage en cas de modification de la côte

Supposons qu'une côte (1, fig. 5) s'engraisse rapidement pour une raison quelconque ; on observe alors que la première zone se déplace parallèlement à elle-même, conservant la même pente. Au contraire, la seconde zone se raidit (2, fig. 5) et ne reprendra sa forme initiale que longtemps après que le rivage se sera stabilisé (3, fig. 5). Le phénomène inverse se produit pour une côte en recul.

Cas où le sable n'est plus homogène

Le sable n'a jamais une grosseur uniforme. Supposons d'abord qu'il n'y ait que deux grosseurs de sable. Le sable fin, s'il était seul, tendrait à former une plage d'une forme analogue à celle du gros sable, mais avec les pentes moindres, c'est-à-dire que sur les pentes raides de la plage de gros sable, le sable fin ne peut se maintenir et descend la pente. Il va donc se former, après la plage de gros sable, une seconde plage à pente plus faible (fig. 6).

S'il existe de la vase, celle-ci va se mettre encore plus loin et va se disposer jusqu'à des distances très importantes du rivage. Le talus d'éboulement qui constitue la limite du plateau continental (fig. 7) ne commence parfois qu'à plus de 100 kilomètres de la côte.

Effet d'une digue sur un rivage

Le premier effet d'une digue faisant saillie sur la côte est d'arrêter les sables pendant un certain temps. La côte avance donc en avant de la digue et recule en arrière.

Puis il arrive un moment où le sable commence à franchir le musoir et revient vers la côte en suivant la digue, mais sans émerger.

A mesure que la distance, depuis le musoir, augmente, la houle perd de sa puissance de transport et il arrive un moment où cette puissance devient inférieure à la résistance formée le sable qui a contourné la digue. A ce moment, un banc apparaît et se détache de la digue puis s'avance peu à peu et vient rejoindre le rivage, créant ainsi une petite lagune (fig. 8).

Les photos 9, 10, 11 et 12 indiquent les différentes phases de ce phénomène, reproduit en modèle réduit.

Il peut d'ailleurs arriver que la houle ne soit pas assez amortie pour que le sable forme un banc se détachant de la digue. Dans ce cas, le sable vient rejoindre la côte à l'enracinement de la digue et reprend son chemin normal le long de la plage. Alors il ne se forme pas de lagune.

Effet d'une ile proche du rivage

A l'abri d'une île, la houle se trouve amortie et déformée. S'il n'y a pas de transport de sable, la côte tend à se mettre en tout point parallèle aux lames. Elle formera donc une sorte de pointe en arrière de l'île (fig. 13), pouvant d'ailleurs la rejoindre si l'île est assez longue parallèlement à la côte (fig. 14).

S'il y a un transport de sable le long de la côte, la pointe se trouve décalée et dissymétrique comme

Fig. 3

Fig. 9

Fig. 10

Fig. 11

Fig. 12

Fig. 18

Fig. 19

Fig. 20

Fig. 21

Essais sur modèle réduit effectués au laboratoire de Delft

l'indique la figure 15. Elle peut également venir rejoindre l'île et celle-ci forme alors un promontoire que doit contourner le sable (fig. 16).

Evaluation des transports de sable sur une côte

Il est souvent très important de connaître l'ordre de grandeur du cheminement de sable le long d'une côte.

C'est assez facile de le savoir quand les sables ont été arrêtés pendant quelques années par un obstacle, par exemple une digue. Mais encore faut-il, pour qu'on soit sûr du résultat, que cet obstacle avance en mer au delà de la première zone définie plus haut. C'est pourquoi de simples épis ne peuvent pas, en général, donner de renseignements utiles.

A noter d'ailleurs qu'une digue, surtout de faible importance, peut fort bien entraîner un avancement de la côte plus important après l'ouvrage qu'avant lui par rapport au sens des cheminements. Pour cette raison, on a quelquefois de la peine à déterminer même le sens de la marche des cheminements.

Formation des lagunes

Comme il a été expliqué plus haut, une lagune peut être créée par l'édification, par la houle, d'une flèche de sable partant d'une digue ou d'un promontoire pour rejoindre la côte.

Mais dans bien des cas il semble que les lagunes soient dues à un phénomène bien différent.

Par exemple, supposons que des apports de sable continus viennent peu à peu engraisser une côte et que celle-ci forme une vaste baie dont le rivage avance lentement. Il se constituera alors une plaine sablonneuse à une cote de quelques mètres (par exemple 5 mètres) au-dessus de la mer (fig. 17).

Si, à un moment donné, il se produit sur cette côte un effondrement de 2 à 3 mètres, la mer reformera immédiatement une crête du rivage à 5 mètres au-dessus du niveau de l'eau (2). Une nouvelle plaine se constituera, à deux ou trois mètres au-dessus de la précédente (3). Si le phénomène se renouvelle plusieurs fois, la première plaine se trouvera finalement au-dessus du niveau de la mer. Il y aura ainsi formation d'une lagune (4).

Si au lieu d'effondrements brusques on a un enfoncement lent, la coupe de la côte se présentera comme l'indique le schéma n° 5 et le cordon littoral s'éloignera peu à peu du rivage initial. En même temps la mer pénétrera dans les vallées, créant sur la rive intérieure de la lagune des golfes souvent étroits, longs et profonds comme cela existe à la Côte d'Ivoire.

Si, au bout d'un certain temps, l'enfoncement vient à être plus rapide ou les apports plus faibles, le cordon littoral s'amincira et finira par se rompre en un certain nombre de points, formant des îles susceptibles d'être détruites ensuite peu à peu.

Cette formation d'une lagune a été vérifiée en modèle réduit en remplaçant l'enfoncement de la côte par une surélévation du niveau de l'eau, cependant que les apports de sable s'accumulaient dans le fond d'une baie. Dans ces conditions, il s'est bien formée une lagune suivant le processus indiqué (photos 18, 19, 20, 21).

Enfin, une lagune peut être formée (fig. 22) par un fleuve débouchant sur une côte à cheminement de sable important. Il s'infléchit à son embouchure et suit la côte sur une certaine longueur, et celle-ci augmente peu à peu. En même temps, la partie amont de cette portion de fleuve tend à faire des méandres, cependant qu'en crue le niveau de l'eau monte d'autant plus que le bras s'allonge. Il arrivera fatalement un moment où la flèche de sable sera percée. Le fleuve passera alors par la nouvelle embouchure ainsi créée tandis que l'ancienne se fermera. On aura ainsi une lagune peu profonde et de largeur constante, très différente de celle dont la formation a été indiquée plus haut.

***

D'une manière générale, les essais sur modèle réduit ont reproduit la réalité avec une ressemblance frappante et ont permis d'expliquer bien des phénomènes observés sur les côtes sablonneuses, et il est permis de leur attribuer une grosse valeur dans l'établissement du projet d'un port.

En ce qui concerne Abidjan, les essais se poursuivent activement et vont permettre d'établir, d'ici quelques semaines, le projet définitif qui, dès à présent, se révèle comme devant être du type III, défini plus haut.

Pelnard-Considère,

Ingénieur des Ponts et Chaussées,
Chef du Service Maritime de la Côte d'Ivoire.

Fosses marines de l'Afrique Occidentale

Au cours de la dernière réunion de la section d'Océanographie physique du Comité National français de géodésie et géophysique, M. l'Ingénieur hydrographe Général Cot a signalé que la mission hydrographique qui opère au Sénégal à découvert une fosse profonde et étroite qui aboutit, près de terre, sur la côte du Cayor.

Sans préjuger des renseignements, certainement très importants, qui seront apportés sur cette question par les Ingénieurs hydrographes opérant sur la côte d'Afrique, il peut être intéressant de rappeler ici qu'on connaît déjà deux fosses marines en Afrique occidentale. La première est le « Trou sans fond » de la Côte d'Ivoire, dont il est question dans l'article ci-dessus de M. Pelnard-Considère. La seconde est celle située un peu au Nord de la presqu'île du Cap Vert, au Sénégal.

Cette dernière dépression, d'après une carte de M. H. Benest, commencerait à une vingtaine de kilomètres de la côte, par environ 15° lat. N. et 17°20′ long. W. Greenwich ; elle se développerait vers le N.-W. Elle figurait déjà, sous le nom de « gouffre », dans la carte du Major Rennel (sans date, mais probablement de 1798) présentée en tête de la traduction française (par J. Castéra, Paris, an VIII) du « Voyage fait en 1795, 1796 et 1797. par M. Mungo-Park ».

Un siècle plus tard (octobre 1899), M. Henry Benest a donné, dans le *Royal Geographical Journal*, une description de cette dépression, qu'il considère, à juste titre, semble-t-il, comme une vallée sous-marine (ceci paraît être également le cas pour le « Trou sans fond » de la Côte d'Ivoire). Sur la carte accompagnant cette description sont portées des profondeurs de plus de 1.700 mètres.

Certains indices de surface ont amené M. Benest à penser que dans cette vallée aboutissait actuellement une rivière sous-marine. Des prélèvements d'eau, effectués en 1913 dans cette région par M. Gain à la demande du Gouverneur Général de l'A. O. F., n'ont toutefois pas permis de confirmer cette opinion.

H. H.

NOTES ET INFORMATIONS

Par décret en date du 25 juillet 1935, M. A. Lacroix, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences, Professeur au Muséum d'Histoire Naturelle, Président du Conseil de Perfectionnement des Services de Physique du Globe des colonies françaises, a été élevé à la dignité de Grand-Officier de la Légion d'honneur.

La Commission française de l'Année polaire s'est réunie le 18 juin 1935, au laboratoire de l'Institut de Physique du Globe, sous la Présidence de M. Fichot, membre de l'Institut.

Au cours de cette séance, la Commission a examiné les conditions de publication des travaux effectués par les missions françaises de l'Année polaire.

Sur l'initiative de M. le Ministre de la Guerre, il a été créé une Commission interministérielle de photogrammétrie. Les Ministères des Finances, des Travaux publics, de l'Agriculture, des Colonies, de l'Air, de la Marine et de la Guerre sont représentés à cette Commission. Les deux premières séances, tenues les 16 mai et 20 juin, ont été consacrées aux travaux exécutés à l'aide de la photogrammétrie dans différents départements ministériels.

Par arrêté en date du 26 avril 1935, M. le Ministre des Colonies a institué une Commission chargée de l'étude des dispositifs destinés à provoquer des condensations artificielles aux colonies.

On été désignés pour faire partie de cette Commission :

MM. A. Lacroix, Secrétaire général de l'Académie des Sciences, Président ; J. Barrois, Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées ; P. Bourdarie, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences coloniales ; H. Hubert, Inspecteur général du Service météorologique colonial ; Ch. Maurain, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut de Physique du globe de l'Université de Paris ; E. Rousseau, Conseiller d'Etat, Ingénieur général de la Marine ; P. Wehrlé, Directeur de l'Office national météorologique.

La première réunion de la Commission a eu lieu le 7 juin 1935, au secrétariat de l'Académie des Sciences. La séance a été consacrée à l'étude d'un projet déposé.

BIBLIOGRAPHIE

MAURAIN (Ch.) et LACOUR (D.). — **Association de magnétisme et électricité terrestres.** Comptes-rendus de l'Assemblée de Lisbonne (17-25 septembre 1933). Un vol 17 × 25 cm. de 354 pages. Copenhague (Horsholm Bogtrykkeri-Horsholm), 1934.

Ce volume est divisé en dix parties, notamment : ordre du jour et procès-verbaux ; rapports nationaux ; rapports sur des sujets spéciaux ; année polaire ; communications sur différents sujets ; résolutions, commissions et rapporteurs.

Parmi les sujets intéressant plus spécialement les colonies françaises figure la communication de M. John A. Fleming, rapporteur du Comité chargé d'étudier la répartition actuelle, et celle qui serait désirable, des observations de magnétisme et électricité terrestres à la surface du globe. Il est demandé, dans ce rapport, que plusieurs stations soient installées dans nos possessions d'outre-mer. Une discussion générale a conduit l'Association de Magnétisme et électricité terrestres, puis l'Union internationale de Géodésie et Géophysique, à adopter un vœu relatif à la répartition future des stations du réseau mondial.

Un autre rapport, également de M. John A. Fleming, recommande la répétition, à intervalles aussi réguliers que possible, des observations magnétiques, dans un certain nombre de points du globe, en vue de préciser la valeur de la variation séculaire. Parmi ces stations figurent notamment : Alger, Touggourt, Douala, Fort-Lamy, Libreville, Djibouti, Tombouctou, Dakar, Koulikoro, Hanoi, Hué, Phantiet, Saigon, Cayenne, Majunga, Tamatave, Tananarive, Tuléar, Saint-Paul, Kerguelen, Papeete.

***

ROUX (G.). — **Les travaux de Météorologie et de Physique du Globe au Maroc.** *La science au Maroc*, 1934, pp. 41 et suiv. Casablanca (Imprimeries Réunies).

L'auteur examine, dans 7 chapitres successifs, l'évolution des recherches de météorologie et de physique du Globe au Maroc : 1° avant l'occupation ; 2° de 1907 à 1921 ; 3° la prédiction des houles ; 4° de 1921 à 1930 ; 5° organisation actuelle, prévision du temps ; 6° climatologie ; 7° Physique du Globe.

***

P. CHEVEY et P. CARTON. — **Les courants de la Mer de Chine méridionale et leurs rapports avec le climat de l'Indochine.** *Notes et Mém. Inst. Océanog. de l'Indochine*, 1934, 26e note.

Les études entreprises au cours des dix dernières années par l'Institut océanographique de l'Indochine ont mis en évidence l'existence d'un courant circulaire dans le golfe de Siam, avec mer de Sargasses en son centre.

Dans la mer de Chine méridionale, un autre grand courant permanent Nord-Sud, lié à la mousson d'hiver (alizé), semble très probable. La mousson d'été provoque simplement le long des côtes de l'Annam un contre-courant de surface Sud-Ouest–Nord-Est, qui n'arrive pas à refouler le grand courant Nord-Sud.

Ces renseignements sont complétés par une étude des isothermes en profondeur et par des investigations d'ordre biologique.

Plusieurs cartes sont jointes à l'exposé : courants généraux — régime des vents — coupes de la mer de Chine parallèlement à la côte indochinoise, — isothermes en surface, à — 50 mètres et à — 100 mètres, — enfin lignes d'égal degré de continentalisme.

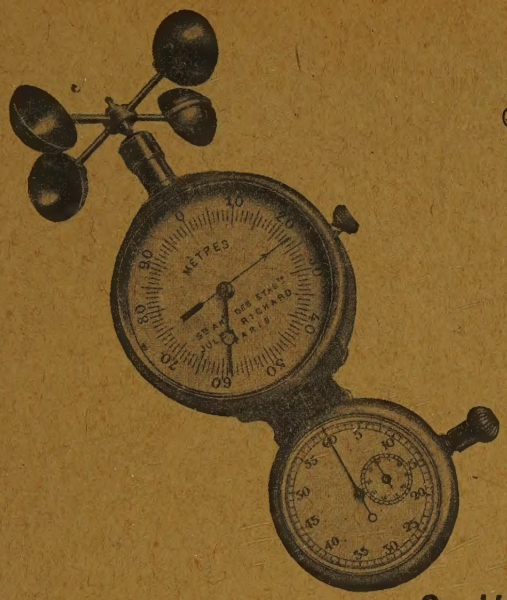
***

BOSSOLASCO (M.). — **Salinità, nuclei di condensazione et precipitazioni,** *Bollettino del Com. per la Geodesia e la Geofisica del Consiglio Nazionale delle Ricerche.* Serie II, Anno IV, N° 1-2, juglio 1934, XII.

L'auteur a déterminé la salinité de l'air à Mogadiscio (Somalie italienne) pendant la période où souffle la mousson du Sud-Ouest. Les chiffres trouvés s'accordent bien avec la loi de distribution formulée par M. Köhler. La proportion des noyaux de condensation augmente rapidement dans l'air quand on passe de l'Océan aux régions continentales. Il y a, enfin, une relation étroite entre l'augmentation des noyaux de condensation et les nuages ou la pluie.

L'Éditeur-Gérant : R. PINARDON.

Rochefort-sur-mer. — Imprimerie A. Thoyon-Thèze, 121-123, rue Pierre-Loti. — 1935



Société Anonyme des

Etablissements Jules RICHARD

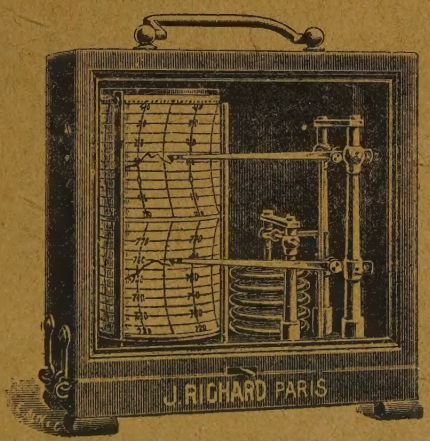
25, Rue Mélingue, PARIS (20e)

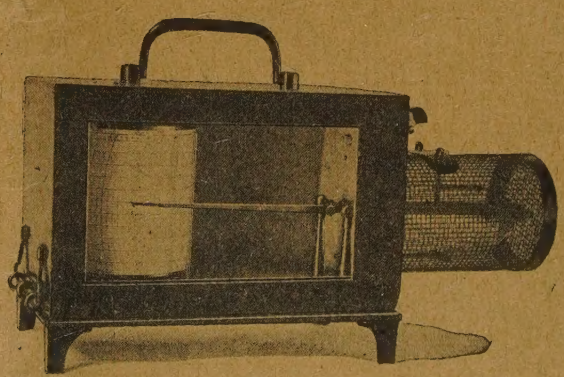
Tél. : Botzaris 88-80 — Tél. : Botzaris 88-80

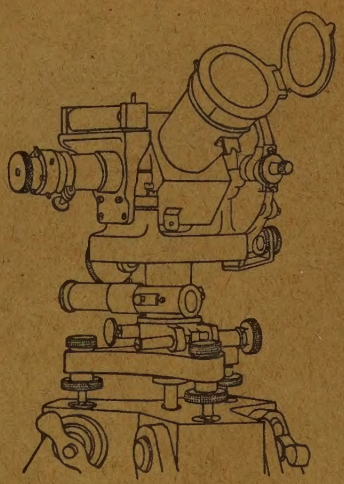
INSTRUMENTS DE PRÉCISION

de Mesure et de Contrôle

pour les Sciences et l'Industrie







A. BERTHELEMY - LORIEUX - PONTHUS et THERRODE

Etabts Albert LEPETIT & Cie

Société en commandite simple. Capital 1.000.000 de francs

Constructeurs

20, Rue Marie Debos, à Montrouge (Seine)

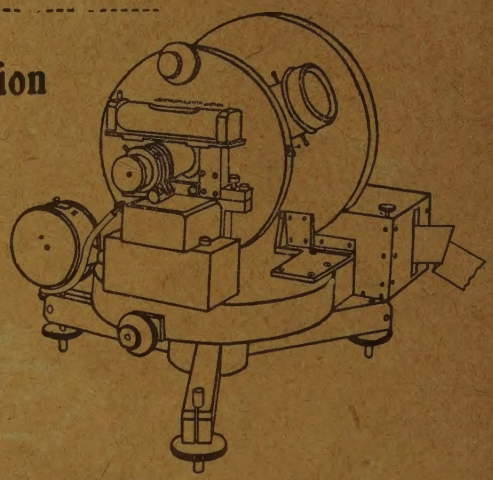
Tél. Alésia 26-37 — Ad. tél. Ponrode Paris 14

Fournisseurs des Ministères des Colonies, de la Marine, du Service Géographique de l'Armée.

Instruments de Précision

pour

— la Topographie, la Marine —
l'Aviation, la Météorologie, etc...



THÉODOLITES SIMPLES ET ENREGISTREURS
POUR LE REPÉRAGE DES BALLONS-SONDES

Catalogues franco sur demande

Rég. Comm. Seine 229-817 B

ROSENMULLER
DRESDEN

ANÉMOMÈTRES
POUR TOUTES VITESSES
(à partir de 0,02 m/sec.)

GIROUETTES

TUBES DE PITOT

MICROMANOMÈTRES

LAMBRECHT
GÖTTINGEN

HYGROMÈTRES

PSYCHROMÈTRES

BAROMÈTRES

PLUVIOMÈTRES

EVAPOROMÈTRES

HÉLIOMÈTRES

A. OTT
KEMPTEN

PLANIMÈTRES
INTÉGRAPHES
ANALYSEUR-HARMONIQUE

—

ENREGISTREUR
DE MARÉE ET DE HOULE

—

APPAREILS
POUR L'ÉTUDE
DES COURANTS D'EAU

J. BAROT

Représentant exclusif
pour la France et les Colonies

20, Rue de Varenne, PARIS (7e)

Catalogues franco sur demande

Rochefort-sur-mer. — Imprimerie A. Thoyon-Thèze. — 1935.